УДК 504.75; 574

О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ, А.Г. СЕКИСОВ
Московская государственная геолого-разведочная академия им. Серго Орджоникидзе

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПОВТОРНОЙ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ РУДНОЙ МАССЫ

Обоснован метод математического моделирования для оценки миграции металлов при разработке первичных и вторичных месторождений. Разработан коэффициент экологической нагрузки, отражающий соотношение металлов, мигрирующих в окружающую среду, и их токсичность, а также позволяющий учитывать фактор времени.

In the present study the method is substantiated for mathematical modelling of estimating the migration of metals during the exploitation of primary and secondary deposits. The ecological load factor representing the correlation of metals migrating to the environment with toxicity and time is developed.

Разработка рудных месторождений с промышленно-экономической точки зрения представляет собой систему технологических процессов, обеспечивающих получение конечного продукта из той части руд (рудной массы), которая на конкретном этапе оценки является прибыльным объектом эксплуатации. С экологической точки зрения разработка месторождения определяется системой нарушений природного равновесия, в том числе за счет миграции в окружающую среду металлов, обусловленной техногенным воздействием на кристаллическую среду, поровые и трещинные воды. Обобщая эти подходы, процесс разработки месторождений в первом приближении можно рассматривать как перевод металлов из условно статичного состояния (в недрах) в подвижное: извлеченный из руд металл используется в последующих производствах, а недоизвлеченный в различных формах мигрирует в окружающую среду.

Поскольку процесс разработки рудных месторождений, как правило, продолжается десятилетия, то в большинстве случаев, те общерудничные и эксплуатационные потери металлов (в целиках, недовыпущенных рудах, спецотвалах, хвостохранилищах), которые на начальном этапе эксплуатации были экономически оправданы, через определенные периоды могут становиться высокоприбыльными объектами повторной разработки. Однако за счет миграции металлов из таких техногенных источников и процессов окисления эти объекты с течением времени теряют свой экономический потенциал и их вторичная разработка становится менее прибыльной.

Таким образом, экологическая проблема загрязнения окружающей среды напрямую связана с проблемой экономического обоснования вторичных и первичных потерь металлов. Следовательно, формализуя с изложенных позиций процесс разработки месторождений как динамическое изменение состояний металлов, т.е. перевод их из статичного состояния в подвижное (в конечные продукты и в качестве загрязнений в подземные воды), мы создаем идеологию математической оптимизационной модели горного предприятия, где в качестве критерия выбора оптимального варианта будут использоваться экстремальные значения показателей, отражающих и оценивающих параметры этих процессов. Главной составной частью проблемы математического моделирования является именно обоснование критериев оптимизации, позволяющих соизме-

рять экономическую и экологическую значимость первичных и вторичных потерь, которые прямо и косвенно определяются фактором времени.

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

$$K_э = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{i=1}^{T} M_{it}\frac{Ц_{it}}{З_{it}} + \sum_{i=1}^{N}\sum_{i=1}^{T} M'_{it}\frac{Ц_{it}}{З_{it}}}{\sum_{i=1}^{N}\sum_{i=1}^{T} M_{0it}\frac{C_i}{C_{ПДКi}}},$$

где M_i и M'_i – масса i-го металла, извлеченного в t-м году в виде концентрата или рафинированного продукта из недр и из техногенных объектов, т; M_{0it} – масса i-го металла, перешедшего в окружающую среду в t-м году, т; $Ц_{it}$ – ценность (прогнозная цена) i-го металла в t-м году, руб./т; $З_i$ – полные расходы (затраты на добычу, переработку, налоги, транспорт) на получение i-го металла, руб./т; C_i и $C_{ПДКi}$ – расчетное содержание i-го металла в подземных водах, рассчитываемое по специальным методикам, известным в гидрогеохимии или принимаемое методом аналогий, и его ПДК в воде соответственно, мг/л.

Приведение по времени в данном случае, как видно из формулы, осуществляется не за счет дисконтирования, а по фьючерским прогнозам изменения цен на металлы, с одной стороны, и изменения затрат на их производство (в связи с изменением горно-геологических условий разработки, выплат кредитов, использования селективной выемки и т.д.), с другой.

Использование предлагаемого показателя позволяет соизмерить относительную экономическую значимость получения основных и сопутствующих 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.

Предлагаемый показатель эколого-экономической оценки наиболее эффективно использовать на стадии выбора способов, технологических схем и систем первичной и повторной разработки, поскольку в его основу заложены укрупненные технологические, экологические и экономические показатели, что соответствует уровню достоверности геологической информации на стадии предпроектной оценки.

На основании результатов математического моделирования могут быть выбраны несколько вариантов для последующего, более детального рассмотрения, где используются уже другие экономические параметры оценки, но также позволяющие количественно оценивать экологические последствия от разработки месторождений.

Для детальных проектных решений предлагается использовать показатель суммарной прибыли ΣПр, полученной от разработки первичных (природных) и вторичных (техногенных) источников, с поправкой, учитывающей фактор времени при оценке прибыльности повторной разработки (переработки):

$$K_t = K_{ит} K_{ct},$$

где $K_{ит}$ и K_{ct} – коэффициенты изменения извлечения и содержания металла во времени соответственно.

Поскольку эти коэффициенты при длительных периодах оценки могут изменять свои значения (в результате пассивации поверхностей в процессе окисления, частичного переосаждения металлов за счет сорбционных процессов), то расчет прибыли 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 собой максимум суммы дисконтированной прибыли от первичной разработки запасов месторождения и от приведенной по срокам вторичной разработки (переработки) потерянных в процессах первичной добычи и обогащения руд и рудной массы:

$$\sum \text{Пр} = \sum_{1}^{T} \frac{1}{(1+E)^t}(\text{Ц}_t - C_t)\text{Р}_t K_\text{н} K_0 \bar{C} +$$

$$+\left[\sum_{1}^{T} \frac{1}{(1+E)^t}(\text{Ц}'_t - C'_t)\text{Р}_t(1-K_\text{н}) \times \right.$$

$$\times \bar{C} K_{\text{и}t} K_{\text{с}t} + \sum_{1}^{T} \frac{1}{(1+E)^t}(\text{Ц}''_t - C''_t)\text{Р}_t \times$$

$$\left. \times (1-K_0) K_\text{н} \bar{C} K''_{\text{и}t} K''_{\text{с}t} \right],$$

где E – коэффициент приведения разновременных затрат; t и T – текущее и конечное время оценки, годы; Ц_t и C_t – соответственно извлекаемая ценность и себестоимость в t-м году; $K_\text{н}$ и K_0 – коэффициенты извлечения из недр и при обогащении; $K_{\text{и}t}$, $K_{\text{с}t}$ и $K''_{\text{и}t}$ и $K''_{\text{с}t}$ – соответственно коэффициенты изменения извлечения и содержания металла во времени в недоизвлеченной руде и хвостах обогащения, у.е.; $\bar{C}$ – среднее содержание металла в минеральной массе (руде); Р_t – количество погашенных запасов руды в t-м году; $\text{Ц}'_t, C'_t$ и $\text{Ц}''_t, C''_t$ – 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-м году.