

УДК 504.054:622(574)

**ОБОСНОВАНИЕ УТЕЧЕК РАСТВОРОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
И КРИТЕРИЕВ ИХ ОЦЕНКИ ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ РУД
В ОТВАЛАХ И КУЧАХ**

И.М. Байрамов

Приведено обоснование утечек растворов в окружающую среду и критериев их оценки при выщелачивании руд в отвалах и кучах. Доказано, что удельный расход выщелачивающего раствора в процессе выщелачивания изменяется, и при оценке степени загрязнения окружающей среды этот фактор следует учитывать. Предложенные критерии оценки могут быть использованы при выборе способов и снижения утечек растворов в окружающую среду.

В процессе эксплуатации месторождений полезных ископаемых в силу экономических, гидрогеологических, технологических и природных условий возникает возможность выщелачивания полезных компонентов из руд в отвалах и кучах на неподготовленном и подготовленном основании. При этом необходимо дать прогнозную оценку степени загрязнения окружающей среды неулавливаемыми растворами через неподготовленные и нарушенные основания, то есть утечками растворов.

Для этого примем, что при подаче на отвал (кучу) некоторого количества выщелачивающего раствора (Q_n), часть его (Q_0), смачивая отвал и грунт, вытескает в прудки-уловители. Так как отвал (куча) и грунт являются пористой средой, то в них остается некоторое количество выщелачивающего раствора. Причем, чем полнее орошается объем отвала (кучи), тем больше остается в нем раствора. Количество выщелачивающего раствора, остающегося в отвале, зависит от его удельного расхода. Примем, что $q_{от}$ - удельный расход

для орошения отвала, а q_2 - для орошенной части грунта в основании. Тогда количество жидкости в отвале (куче) и грунте соответственно будет равно

$$Q_{om} = q_{om} V_{\phi} \text{ и } Q_2 = q_2 V_2,$$

где V_{ϕ} , V_2 - фактически орошенный объем отвала (кучи) и грунта в основании, m^3 .

Согласно балансу подаваемого и улавливаемого в прудках, отвалах (кучах) и грунтах раствора, должно выполняться следующее равенство:

$$Q_n = Q_0 + q_{om} V_{\phi} + q_2 V_2, \quad (1)$$

где Q_n - количество раствора, подаваемого на кучу или отвал, m^3 ; Q_0 - объем выщелачивающего раствора, вытекающего из отвала в прудки-уловители, m^3 ; q_2 - удельный расход раствора для грунта в основании отвала (кучи), m^3/m^3 ; V_2 - объем грунта, обработанный раствором, m^3 ; V_{ϕ} - фактически обработанный раствором объем отвала (кучи) руды, m^3 ; q_{om} - удельный расход раствора для обработки руды в отвале (куче), m^3/m^3 .

В ранее проведенных исследованиях при определении удельного расхода выщелачивающих растворов не учитывался фактор взаимодействия окисляющихся минералов и окислителей в растворе. Это приводит к неточному определению удельного расхода выщелачивающих растворов и расхода химических реагентов и, как следствие, неправильной оценке степени загрязнения ими окружающей среды. Нами разработан новый способ определения удельного расхода выщелачивающего раствора, учитывающий фактор взаимодействия его с окисляющимися минералами полезного компонента. При этом объем руды в выщелачиваемом отвале (куче) представляется как несвязная пористая среда с неоднородной пористостью. В соответствии с изложенным выше, удельный расход жидкости, с учетом естественной влажности, предлагается определять по формуле

$$q_{om} = 0,01 \frac{\rho_{ж}}{\rho_2} \Pi [\varphi_0 - (W_M + W_e + 2\varphi + \varphi_1 \pm \varphi_2)], \quad (2)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ - плотность выщелачивающего раствора, кг/м³; ρ_r - плотность объема горной массы, кг/м³; φ_0 - относительная влажность руды, %; Π - пористость горной массы, м³/м³; φ - содержание частиц фракций 0-1 мм, %; φ_1 - весовое содержание химического реагента в водном растворе, %; φ_2 - весовое содержание окисляющихся (растворяющихся) минералов в горной массе, %; W_M - максимальная молекулярная влагоемкость частиц той же фракции, %; W_e - естественная влажность горной массы, %.

Анализ выражения (2) показывает, что удельный расход $q_{\text{от}}$ не однозначно зависит от параметров φ_1 и φ_2 . Так, если величина φ_2 будет со знаком плюс, то удельный расход будет меньше и наоборот. Однако при растворении полезных компонентов в выщелачивающем растворе величину φ_2 следует принимать со знаком минус. Причем эта величина является функцией скорости растворения минералов в выщелачивающем растворе, и она определяет интенсивность изменения пористости навала руды. Следует полагать, что при $\varphi_1 = \text{const}$ со временем будет увеличиваться пористость Π , а следовательно, и удельный расход выщелачивающего раствора. В случае $\varphi_1 - \varphi_2 > 0$ пористость будет уменьшаться, а следовательно, и удельный расход тоже.

Для доказательства этого общую поверхность кусков руды в навале представим как

$$S_0 = \frac{3V_H(1-\Pi)}{R_i}, \quad (3)$$

где ΔV_H - объем пор в навале руды, м³; R_i - средний радиус куска руды, м.

Из (3) определим, что

$$\Pi = 1 - \frac{S_0 R_i}{3V_H}. \quad (4)$$

При выщелачивании руды средний радиус R_i будет со временем изменяться в зависимости от физико-химических свойств

минералов и раствора. Изменение R_i , м, можно определить при хемосорбционном процессе по формуле

$$R_i = R_0 - \frac{bK_T C_K \tau}{\rho_T}, \quad (5)$$

где R_0 - первоначальный радиус куска руды, м; b - количество молей выщелачивающего реагента, реагирующего с 1 молем минерала; K_T - константа скорости химической реакции взаимодействия минерала и раствора, отнесенная к единице поверхности, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; C_K - концентрация выщелачивающего вещества в растворе, доли ед.; ρ_T - плотность растворяющихся минералов, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ - время действия выщелачивающего раствора, с.

Подставляя (5) в (4), определим, что

$$\Pi = 1 - \frac{S_0}{3V_H} \left(R_0 - \frac{bK_T C_K \tau}{\rho_T} \right). \quad (6)$$

Как видно из (6), с увеличением времени возрастает пористость навала, что подтверждает сделанный выше вывод. При растворении минерала часть его может выпадать в осадок. В случае, если растворяемая часть минерала будет больше той, которая выпадает в осадок, то перед значением φ_2 в (2) ставится знак минус.

Таким образом, изложенный анализ позволяет сделать вывод о том, что удельный расход выщелачивающих растворов не является постоянной величиной и его следует корректировать во времени. Он может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от физико-химических процессов взаимодействия руды и растворов. Это необходимо учитывать при оценке степени загрязнения окружающей среды выщелачивающими растворами. С точки зрения повышения эффективности выщелачивания полезных компонентов необходимо подбирать такой растворяющий реагент, при котором величина $\varphi_1 = 0$, а растворяемая часть $\varphi_2 \rightarrow \text{max}$.

Для оценки утечек выщелачивающего раствора через неподготовленное основание в окружающую среду и эффективности обработки руды возвратимся к равенству (1) и представим его в виде

$$V_\phi = \frac{Q_H - Q_0 - q_z V_z}{q_{от}}. \quad (7)$$

Для расчетов по формуле (7) следует располагать такими данными, как: объем руды, подлежащий выщелачиванию, $V_{из}; Q_n; Q_0; q_2; V_z$, а также рассчитанным по выражению (2) значением $q_{от}$.

Величина $V_{из}$ определяется как объем отвала (кучи) за исключением объема откосной его части, т.е.

$$V_{из} = V_{от} - V_{отк}, \quad (8)$$

где $V_{от}$, $V_{отк}$ - объем соответственно отвала (кучи) и откосной его части, m^3 . Значение Q_n рассчитывается, исходя из производительности насосов, т.е.

$$Q_n = \eta \cdot P_n \cdot \tau_0, \quad (9)$$

где η - КПД насосов; P_n - производительность насосов, m^3/c ; τ_0 - время орошения отвала (кучи), с.

Величина Q_0 определяется по уровню раствора в прудках - уловителях. Значение q_2 по формуле, аналогичной (2) для грунта, а V_z по выражению

$$V_z = S_{осн} \cdot h_n, \quad (10)$$

где $S_{осн}$ - площадь, на которую попадет раствор в основании отвала (кучи), m^2 ; h_n - мощность грунта под основанием отвала (кучи), м.

При определении величины V_z для случая неподготовленного основания величина $S_{осн}$ будет равна площади основания отвала (кучи). В случаях нарушения подготовленного основания величина $S_{осн}$ будет пропорциональна площади разрушенной части.

Рассчитанный по формуле (7) фактически обработанный раствором объем отвала (кучи) руды V_ϕ может быть равен значению $V_{из}$. Это означает, что объем отвала (кучи) руды полностью орошается и режим фильтрации жидкости носит стационарный характер.

Если $V_\phi < V_{из}$, то, значит, обеспечивается орошение только части отвала (кучи) и режим фильтрации раствора может быть как

стационарным, так и не стационарным в определенные моменты времени. При соблюдении условия $V_{\phi} > V_{из}$ будут происходить большие утечки раствора и режим фильтрации носит нестационарный характер. Из изложенного вытекает, что для обеспечения качественной обработки руды в отвале (куче) и уменьшения утечек растворов следует обеспечить такой способ орошения, при котором будет соблюдаться стационарный режим фильтрации жидкости.

Таким образом, при определении объема утечек растворов в окружающую среду через неподготовленные или разрушенные основания можно воспользоваться выражением

$$V_{ум} = Q_n - Q_0 - q_{ом} V_{\phi} - q_z \cdot S_{осн} \cdot h_n. \quad (11)$$

На подготовленных основаниях $V_{ум} = 0$ и $S_{осн} = 0$, поэтому должно соблюдаться условие

$$Q_n = Q_0 + q_{ом} V_{\phi}. \quad (12)$$

Если условие (12) не соблюдается, то это означает, что либо подготовленное основание имеет нарушение, или раствор загрязняет окружающую среду через прудки-уловители. Для определения причины утечки достаточно остановить орошение отвала (кучи) и зафиксировать уровень раствора в прудках-уловителях. При постоянстве уровня раствора в прудках-уловителях в течение 2-3 суток следует считать, что нарушена изоляция подготовленного основания. Для установления места разрушения подготовленного основания, на котором отсыпана руда, требуются специальные исследования. Однако для оценки степени загрязнения окружающей среды в случаях разрушения основания достаточно определить объем утечек раствора, который можно принять равным

$$V_{ум} = Q_n - Q_0 - q_{ом} V_{ом}. \quad (13)$$

Как видим, полученные расчетные формулы (11) и (13) могут быть использованы при разработке критериев и методики оценки степени загрязнения окружающей среды выщелачивающими растворами при отвальном и кучном выщелачивании руд на неподготовленных и разрушенных основаниях.

При оценке загрязнения окружающей среды обычно применяют такие стандартные показатели и критерии, как, например,

предельно-допустимые концентрации вредностей и нормы предельно-допустимых выбросов (сбросов), интенсивность и время выделения вредностей и другие. Указанные показатели и критерии применяются при составлении экологических паспортов предприятий и их объектов, а также при оценке эффективности способов и средств защиты окружающей среды. Утечки выщелачивающих растворов являются одним из видов сбросов вредностей, которые логически так же должны быть нормированными. Однако при оценке способов и средств защиты от загрязнения окружающей среды растворами следует учитывать и тот факт, что с утечками растворов происходят и убытки от потерь выщелачиваемых полезных компонентов. Учитывая это, для оценки изменения экологической ситуации при применении тех или иных способов и средств защиты окружающей среды предлагается комплексный эколого-экономический критерий

$$\chi = Y_{он} / Y_0, \quad (14)$$

где $Y_{он}, Y_0$ - ущерб от утечек растворов в окружающую среду до и после применения тех или иных способов и средств профилактики утечек, тг/год. Величину Y_0 , тг/год, предлагается определять как

$$Y_0 = Y_n + Y_{сд} + Y_{сз} + Y_{нк}, \quad (15)$$

где $Y_n, Y_{сд}, Y_{сз}$ - ущерб от загрязнения соответственно почвы, гидросферы и атмосферы, тг/год; $Y_{нк}$ - ущерб от потерь выщелачиваемых полезных компонентов руды, тг/год.

Размер ущербов $Y_n, Y_{сд}, Y_{сз}$ можно рассчитать по известной методике [1].

Ущерб от потерь полезных компонентов $Y_{нк}$, тг/год предлагается определить по формуле

$$Y_{нк} = 0,01V_{ут} \cdot C_{нк} \cdot S_{нк} \cdot \gamma_{нк}, \quad (16)$$

где $V_{ут}$ - объем утечек продуктивного раствора, м³/год; $C_{нк}$ - концентрация полезных компонентов, %; $S_{нк}$ - стоимость 1 т полез-

ных компонентов в растворе, тг/т; $\gamma_{нк}$ - объемный вес полезных компонентов в растворе, т/м³.

Величины $V_{ум}$ определяются из выражений (11) и (13) в зависимости от состояния оснований отвалов (куч). При определении $Y_{он}$ используют формулы, аналогичные (14) и (16).

Если предлагаемые способы и средства охраны окружающей среды обеспечивают соблюдения значений критерия χ в интервале $0 \leq \chi < 1$, то они могут быть, в принципе, использованы.

Для окончательного выбора способа и средств в конкретных условиях выщелачивания предлагается дополнительно определить размер экономического эффекта, тг/год, от их внедрения по формуле

$$\mathcal{E} = Y_{он} - \left(Y_0 - \sum_{i=1}^n Z_i \right) / V_p \cdot \gamma_p = Y_{он} - \left[Y_0 - \sum_{i=1}^n (C_i + EK_i) \right] / V_p \cdot \gamma_p. \quad (17)$$

где $\sum_{i=1}^n Z_i$ - сумма затрат на разработку и внедрение способа или средства профилактики загрязнения окружающей среды при выщелачивании руды, тг/год; V_p - выщелачиваемый объем руды в отвале (куче), м³; γ_p - плотность объема руды в отвале (куче), м³/т; C_i - удельные эксплуатационные расходы при внедрении предлагаемых способов и средств, тг/год; E - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K_i - удельные капитальные вложения на разработку и внедрение предлагаемых способов и средств охраны окружающей среды, тг/год.

При положительном значении величины \mathcal{E} и соблюдении значения интервала критериев χ способы и средства могут быть приняты к внедрению. Из сравниваемых способов и средств к внедрению следует принимать такие, у которых наименьшее значение χ , а экономический эффект больше нуля. Таким образом, разработанные количественные критерии оценки способов и средств охраны окружающей среды учитывают как экологические, так и

экономические показатели и могут быть использованы при оценке выщелачивания руд в отвалах (кучах).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. — М.: Экономика, 1986. - 95 с.

Восточно-Казахстанский технический университет

РУДАЛАРДЫ ҮЙІЛМЕ-ҚОЙМАЛАРДА ЕРІТІП АЖЫРАТУ КЕЗЕҢІНДЕ ЕРІТІНДІЛЕРДІҢ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА АҒЫП КЕТУЛЕРІНІҢ НЕГІЗДЕРІ МЕН БАҒАЛАУ ӨЛШЕМДЕРІНІҢ КРИТЕРИЙЛЕРІ

И.М. Байрамов

Рудаларды үйілме-қоймаларда ерітіп ажырату кезеңінде ерітінділердің қоршаған ортаға ағып кетулерінің негіздері мен бағалау өлшемдерінің критерийлері көрсетілген. Ерітіп ажырату процесінде ерітінділердің шығыны өзгертіні, осы факторды қоршаған ортаны ластануын бағалағанда есепке алу жөн көруі дәлелденген. Ұсынылған бағалау өлшемдерінің критерийлерін ерітінділердің қоршаған ортаға ағып-сінуін азайту тәсілдерін қарастырығанда пайдалануға болады.