

**ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВСКРЫШИ И
ОПТИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ КАРЬЕРА ДЛЯ УСЛОВИЙ РАЗДАНСКОГО
ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

А.Т. Багдасарян

ЗАО “Геоэкономика”

Для условий Разданского железорудного месторождения, представленного полого-наклонной рудной зоной, имеющей выход на дневную поверхность, по методике профессора Ю.А. Агабаляна рассчитан граничный коэффициент вскрыши. На основе равенства граничного коэффициента вскрыши с контурным коэффициентом обоснована оптимальная глубина карьера. Установлено, что Разданское железорудное месторождение может быть надежной минерально-сырьевой базой для создания в Армении железорудной промышленности и черной металлургии. Обосновано, что Разданское железорудное месторождение экономически целесообразно разрабатывать только открытым способом до глубины порядка 350 м.

Ключевые слова: железо, месторождение, граничный коэффициент вскрыши, оптимальная глубина карьера.

Введение. Для создания в Армении железорудной промышленности и черной металлургии весьма надежной минерально-сырьевой базой может служить Разданское железорудное месторождение, утвержденные балансовые запасы которого по состоянию на 01.01.2007г. по категориям В+С₁ равны 77736,4 тыс. т, а запасы растворимого железа – 20572,0 тыс. т. Следовательно, с точки зрения создания железорудной промышленности и черной металлургии, Разданское железорудное месторождение может иметь большое практическое значение. Разданское железорудное месторождение расположено в Котайкском марзе РА, в 1,5 км от г. Раздан, связано с г. Ереван шоссейной дорогой протяженностью 39 км. В непосредственной близости от месторождения расположены железные дороги Ереван – Сотк и Ереван – Иджеван, а также автострада Ереван – Севан.

Разданское железорудное месторождение представлено пластообразным рудным телом с пологим и наклонным его залеганием [1, 2]. Контакт рудного тела с интрузивными породами обычно резкий, извилистый. С юго-запада рудное тело ограничивается тектоническим разломом сбросо-сдвигового характера.

На Разданском месторождении рудное тело, представленное в основном метасоматическими образованиями, по простиранию прослежено на 1400 м, по падению – свыше 300 м. Зона имеет северо-западное простирание с азимутом 320°, с незначительным изменением направления на юго-восточном фланге

(340°). Падение рудного тела на юго-запад под углом 25...30°, к северо-западу наблюдается постепенное увеличение угла падения до 45...50°, к юго-востоку – снижается до 10...15°.

В центральной части рудного тела залегают массивные магнетитовые руды с содержанием растворимого железа 20...50%. В висячем и лежачем боках рудного тела залегают вкрапленные руды (содержание растворимого железа 15...20%), которые окаймляются гранатовыми скарнами (содержание растворимого железа менее 15%). Контакт между массивными и вкрапленными рудами, а также последних со скарнами обычно постепенный и определяется по данным опробования.

Рудная залежь в юго-восточной части месторождения имеет мощность порядка 60...70 м и представлена одним монолитным телом с маломощными прослойками безрудных скарнов. В центральной же части мощность скарнов, залегающих внутри рудного тела, увеличивается до 90 м, в связи с чем создается впечатление о наличии двух отдельных рудных тел.

В результате изучения процесса обогащения руд Разданского железорудного месторождения был сделан вывод, что руды данного месторождения следует обогащать мокрой магнитной сепарацией; при этом полученный концентрат пригоден для получения чистого железа прямым восстановлением с последующей выплавкой электротехнических сталей. Процесс получения чистого железа схематически можно представить следующим образом: добыча руды → получение железного концентрата → окомкование концентрата → производство губчатого железа → получение чистого железа электровыплавкой.

В таблице приводятся технологические показатели обогащения руд Разданского железорудного месторождения.

Таблица

Технологические показатели обогащения руд

Содержание железа в руде (α), %	Выход концентрата (γ), %	Содержание железа в концентрате (β), %	Извлечение железа в концентрат (ε), %
45,58	58,50	69,40	89,80
40,23	49,10	68,30	83,50
34,19	40,10	68,53	79,50
29,75	32,00	68,10	74,80
21,92	18,85	68,52	59,40

Как видно из данных таблицы, из руд с содержанием железа 21,92... 45,58% получают высококачественные концентраты с содержанием в них железа более 68%, что позволяет их дальнейшую переработку осуществлять не домен-

ным способом, а прямым восстановлением с получением губчатого железа, электровыплавкой которого можно будет производить чистое железо.

Таким образом, обоснование оптимальной глубины разработки Разданского железорудного месторождения является актуальной задачей.

Постановка задачи и методы исследования. Целью исследования является установление оптимальной глубины разработки Разданского железорудного месторождения на основе равенства граничного коэффициента вскрыши с контурным.

Разданское железорудное месторождение целесообразно разрабатывать открытым способом. При этом обоснование оптимальных границ открытых горных работ полностью связано с решением следующих задач:

1. Обоснование граничного коэффициента вскрыши.
2. Обоснование оптимальной глубины карьера на основе равенства граничного ($K_{сп}$) и контурного ($K_{кон}$) коэффициентов вскрыши.

Обоснование граничного коэффициента вскрыши производится с использованием методов, приведенных в работах [3, 4].

Граничный коэффициент вскрыши необходимо определять для двух возможных случаев:

1. Разработку месторождения экономически целесообразно осуществлять только открытым способом.
2. Разработку месторождения экономически целесообразно осуществлять комбинированным открыто подземным способом.

Анализ горно-геологических условий месторождения показал, что второй способ является экономически неконкурентным. Поэтому Разданское железорудное месторождение целесообразно разрабатывать только открытым способом. Ниже приводятся формулы для определения граничного коэффициента вскрыши для 1-го случая:

$$K_{сп} = \alpha_{\phi} b_1 - b_2, \quad (1)$$

$$b_1 = \frac{C_k K_k}{(\beta_k - \theta) Z'_g}, \quad (2)$$

$$b_2 = \frac{C_k \theta}{(\beta_k - \theta) Z'_g} + \frac{Z'_{om}}{Z'_g}, \quad (3)$$

где α_{ϕ} – фактическое содержание железа в руде на предельной глубине, %; C_k – цена 1 т концентрата долл. США/т; K_k – коэффициент изменения качества руды при добыче, доли един.; β_k – содержание железа в концентрате, %; θ – содержа-

ние железа в хвостах обогащения, %; Z'_e – пропорциональная часть затрат на удаление, транспортирование и складирование в отвалы 1 т вскрышных пород, долл. США/т; $Z'_{o.n}$ – пропорциональная часть затрат на добычу (без вскрыши) и переработку 1 т руды, долл. США/т.

При значительных размерах рудного тела по простиранию, когда торцевыми частями карьера можно пренебречь, и с учетом равенства $K_{zp} = K_{кон}$ предельную глубину карьера можно определить по формуле

$$H_o = \frac{K_{ep} m_{cop}}{ctg \beta_1 + ctg \beta_2}, \quad (4)$$

где m_{cop} – горизонтальная мощность рудного тела (ширина дна карьера); β_1 и β_2 – углы откоса бортов карьера со стороны висячего и лежачего боков рудной зоны, град.

Результаты исследования. Анализ изменения цен железных концентратов (интернет сайт www.aricom.ru. Мировой рынок. Производство железорудного сырья, экспорт, импорт, цены) показывает, что они, в зависимости от содержания в них железа, в среднем составляют:

- при содержании железа 61,0% - 100.0 долл. США/т;
- при содержании железа 63,5% - 115.0 долл. США/т;
- при содержании железа 64,5% - 120.0 долл. США/т;
- при содержании железа 66,0% - 145.0 долл. США/т.

Цены приведены с учетом фрахта, которые по сведениям того же источника составляют, например, по маршруту Бразилия – Китай 50 долл. США/т, а по маршруту Австралия – Китай – 23 долл. США/т. По имеющимся сведениям, в Украине цена 68%-го железорудного концентрата франко-обогажительной фабрики составляет 80 долл. США/т. Если принять, что фрахт по маршруту Раздан – завод прямого восстановления железа в Болгарии или Иране составит примерно 70 долл. США/т, то цена франко-потребитель концентрата будет 150 долл. США/т (80+70), что вполне вписывается в приведенную выше динамику роста цен с ростом содержания железа в концентрате. При этом следует учесть, что приведенные выше цены относятся к концентратам, предназначенным для производства рядового проката, тогда как из разданских концентратов следует производить весьма ценные продукты – губчатое и чистое железо высоких марок.

Таким образом, для последующих технико-экономических расчетов цену 1 т 68%-го разданского концентрата франко-обогажительной фабрики примем в размере 80 долл. США/т, что в свете изложенного выше является заниженной величиной.

По результатам коренной переоценки Разданского железорудного месторождения получены следующие данные:

- коэффициент изменения качества руды при добыче – 0,97;
- содержание железа в хвостах обогащения – 11,6%;
- пропорциональная часть затрат на удаление, транспортирование и складирование в отвалы 1 т вскрышных пород – 1,5 долл. США/т;
- пропорциональная часть затрат на добычу (без вскрыши) и переработку 1 т руды – 4,4 долл. США/т.

С учетом вышеизложенного по формулам (2) и (3) рассчитаем коэффициенты b_1 и b_2 :

$$b_1 = \frac{80 \cdot 0,97}{1,5(68 - 11,6)} = 0,92,$$

$$b_2 = \frac{80 \cdot 11,6}{1,5(68 - 11,6)} - \frac{4,4}{1,5} = 13,90.$$

По формуле (1) определим граничный коэффициент вскрыши с учетом того, что в предельных контурах карьера содержание железа составляет 26,65%:

$$K_{cp} = 26,65 \cdot 0,92 - 13,90 = 10,6 \text{ м/т или } 10,6 \cdot \frac{3,64}{2,80} = 13,78 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Поскольку распространение рудного тела на более глубокие горизонты прерывается интрузивными породами, то в расчетах величины оптимальной глубины карьера H_o используем не горизонтальную мощность рудного тела, которая при пологонаклонном его залегании имеет весьма значительные размеры, а ширину дна карьера (порядка 60 м). Что касается величин β_1 и β_2 , то они соответственно составляют 50 и 30 град. Подставив приведенные значения в формулу (4), определим величину H_o :

$$H_o = \frac{13,78 \cdot 60}{ctg 50 + ctg 30} = 322 \text{ м.}$$

Выводы

1. Для создания в Армении железорудной промышленности и черной металлургии весьма надежной минерально-сырьевой базой может служить Разданское железорудное месторождение.

2. Руды Разданского месторождения следует обогащать мокрой магнитной сепарацией; при этом полученный концентрат пригоден для получения чистого железа прямым восстановлением с последующей выплавкой электротехнических сталей.

3. Из разданских руд с содержанием железа 21,92...45.58% получают высококачественные концентраты с содержанием в них железа более 68%, что позволит их дальнейшую переработку осуществлять прямым восстановлением с получением губчатого железа, электровыплавкой которого можно будет производить чистое железо.

4. Цены железных концентратов в зависимости от содержания в них железа (от 61,0 до 66,0%) в 2011-2016 гг. составляли 100...145 долл. США/т.

5. Рассчитанный граничный коэффициент вскрыши составил 10,6 м/т, или 13,78 м³/м³, а оптимальная глубина карьера – 322 м, что свидетельствует об экономической целесообразности разработки Разданского железорудного месторождения исключительно открытым способом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного комитета по науке МОН РА в рамках научного проекта № 15T-2F225.

Литература

1. Աղաբալյան Յու.Ա., Մեխակյան Ս.Վ., Լազարյան Ֆ.Ս., Բաղդասարյան Ա.Թ. Հայաստանում երկաթահանքային արդյունաբերության և սև մետալուրգիայի ստեղծման նպատակահարմարությունը // Էկոնոմիկա. – Երևան, 1993. – № 11-12. – էջ. 29-38:
2. Агабян Ю.А., Лазарян Ф.С., Багдасарян А.Т. Уточнение предельного контура карьера // Горный журнал. – М., 1996. – № 5. – С. 28-29.
3. Агабян Ю.А. Общая теория оптимального освоения недр (твердые полезные ископаемые). – Saarbrücken (Германия): Palmarium Academic Publishing, 2015. – 288 с.
4. Агабян Ю.А. Теория и практика оптимального освоения недр. – М.: Недра, 1994. – 176 с.

*Поступила в редакцию 05.12.2016.
Принята к опубликованию 14.04.2017.*

ՀՐԱԶԴԱՆԻ ԵՐԿԱԹԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՄԱԿԱԲԱՑՄԱՆ ՍԱՀՄԱՆԱՅԻՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ԵՎ ԲԱՑԱՀԱՆՔԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԽՈՐՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ

Ա.Թ. Բաղդասարյան

Թեք-սակավաթեք, երկրի մակերևույթ ելք ունեցող հանքային մարմնով ներկայացված Հրազդանի երկաթի հանքավայրի պայմանների համար պրոֆեսոր Յու.Ա. Աղաբալյանի մեթոդիկայով հաշվարկվել է սահմանային մակաբացման գործակիցը: Սահմանային և եզրագծային մակաբացման գործակիցների հավասարության հիման վրա հիմնավորվել է բացահանքի օպտիմալ խորությունը: Սահմանվել է, որ Հայաստանում երկաթահանքային արդյունաբերության և սև մետալուրգիայի ստեղծման համար բավականին հոսալի հանքահումքային հենք կարող է հանդիսանալ Հրազդանի երկաթի հանքավայրը: Հիմնավորվել է, որ

Հրազդանի երկաթի հանքավայրը տնտեսապես նպատակահարմար է շահագործել միայն բաց եղանակով՝ մինչև մոտավորապես 350 մ խորությամբ:

Առանցքային բաներ. երկաթ, հանքավայր, սահմանային մակաբացման գործակից, բացահանքի օպտիմալ խորություն:

THE RATIONALE OF ECONOMIC STRIPPING RATIO AND THE OPTIMUM PIT DEPTH FOR THE CONDITIONS OF THE HRAZDAN IRON DEPOSIT

A.T. Baghdasaryan

For the Hrazdan iron ore deposit presented by a gently sloping ore zone, having an exit to the earth surface, economic stripping ratio is calculated by the method of Prof. Yu. A. Aghabalyan. On the basis of his equality with the contour ratio stripping the optimum depth of the pit is determined. It is determined that the Hrazdan iron ore deposit can be a reliable mineral-raw material basis for establishing iron ore and ferrous metallurgy in Armenia. It is substantiated that the Hrazdan iron ore deposit is economically expedient to be developed only by an open-pit method up to a depth of 350 *m*.

Keywords: iron, deposit, stripping ratio, optimum pit depth.