Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLII, вып. 3, 1963 г.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

Г. А. Осолодков

Техническая эффективность обогащения E обрабатываемого материала определяет степень приближения полученных результатов разделения к теоретически возможным. Этот показатель, позволяя одним числом охарактеризовать достигнутые результаты разделения, уточняет анализ опытных данных, облегчает выбор оптимальных условий разделения (по максимальным значениям E), делает легко сопоставимыми результаты разделения руд различного состава и т. д. Оценка эффективности разделения особенно полезна для полиметаллических руд, где при анализе результатов испытаний приходится сопоставлять очень большое число различных показателей. С целью выбора наиболее удобного метода оценки эффективности разделения полиметаллических руд рассмотрены существующие методы и выведены новые расчетные формулы, основанные на использовании методики определения эффективности разделения монометаллических руд.

Методы оценки эффективности разделения монометаллических руд. Эффективность разделения монометаллических руд определяется чаще всего [1, 2] по отношению количеств действительно обогащенного материала в концентрате, полученного в опыте, и теоретически возможного при полном разделении руды или по отношению приращений извлекаемых минералов в концентрате, полученном в опыте, и теоретически возможном.

Необогащенным материалом в каждом продукте разделения является часть продукта, представленная посторонними для этого продукта минералами и некоторой частью извлекаемых минералов. Величина последней составляет одинаковую с исходной рудой долю от суммарного количества посторонних материалов. Таким образом, составы необогащенного материала в продуктах разделения и исходной руды одинаковы. В концентрате количество необогащенного материала рассчитывается по содержанию в нем пустой породы, а в хвостах — по содержанию в них извлекаемого материала. Разность между количеством концентрата и количеством необогащенного материала в нем представляет собой количество действительно обогащенного материала в концентрате. Аналогично определяется количество действительно обогащенного материала в хвостах.

Использование одного из этих определяющих признаков при оценке эффективности разделения E монометаллических руд приводит к одной и той же расчетной формуле

$$E = \frac{\gamma(\beta - \alpha)}{\alpha(1 - \alpha)}, \qquad (1)$$

где γ — выход концентрата, доли единицы от количества руды;
β — содержание извлекаемого минерала в концентрате, доли единицы от количества концентрата;
α — содержание извлекаемого минерала в руде, доли единицы от количества руды.

Так, по В. Люйкену [3],

$$E = \frac{\varepsilon - \gamma}{1 - \alpha} \tag{2}$$

где ε — извлечение рудных минералов в концентрат, доли единицы от количества рудных минералов в руде.

В этом выражении достигнутая при обогащении эффективность разделения $\varepsilon - \gamma$ сравнивается с теоретически возможной.

При сопоставлении результатов опытов над одной пробой руды эффективность разделения по В. Люйкену можно характеризовать разностью $\varepsilon - \gamma$, так как величина знаменателя в уравнении (2) в этом случае остается постоянной. При расчете эффективности разделения по выражению (2) не нужно прибегать к специальным вычислениям среднего содержания извлекаемого минерала в руде, концентрате и т. д., а можно пользоваться величинами, обычно содержащимися в каждом сообщении о результатах опытов. Практически это очень удобно.

По Г Маделю [3],

$$E = \varepsilon - \varepsilon' \tag{3}$$

где извлечение пустой породы в концентрат, доли единицы от количества породы в руде.

Второе слагаемое в этом выражении учитывает качество концентрата: чем меньше величина этого слагаемого, тем богаче концентрат.

Н. Г Тюренков эффективность разделения руды предлагает оценивать выходом действительно обогащенного материала, содержащегося в концентрате и хвостах [4],

$$E = \gamma_{\text{обог. к}} + \gamma_{\text{обог. хв}}, \tag{4}$$

где $\gamma_{\text{обог. к}}$ и $\gamma_{\text{обог. хв}}$ — выход чистых рудных и нерудных минералов, содержащихся соответственно в концентрате и хвостах, доли единицы от количества руды.

Выход чистых рудных минералов определяется по разности между выходом концентрата и количеством необогатившегося (исходного) материала, содержащегося в концентрате. Аналогично определяется выход нерудных минералов: по разности между выходом хвостов и количеством содержащегося в них исходного материала. Предложенный показатель представляет собой по существу отношение количеств действительно обогащенного материала, содержащегося в концентрате и хвостах, к количеству этого материала, получающемуся при полном разделении руды.

Выражения (2), (3) и (4) путем несложных преобразований приводятся к выражению (1). Так, формула В. Люйкена переходит в формулу (1) при подстановке в нее значения $\varepsilon = \frac{\gamma\beta}{\alpha}$ Формула Г Маделя преобразуется в то же выражение при использовании $\varepsilon = \frac{\gamma\beta}{\alpha}$ и $\varepsilon' = \frac{\gamma(1-\beta)}{1-\alpha}$ Более сложные преобразования необходимы для формулы (4).

Таким образом, в случае монометаллических руд расчетные формулы для оценки эффективности разделения руды, предложенные различными авторами, являются видоизменениями одной и той же фор-

мулы, основанной на определении эффективности по отношению количеств действительно обогащенного материала или приращений извлекаемых минералов в концентратах, достигнутых и теоретически возможных. Формулы не меняют своего вида при расчетах тех же отношений по суммарным величинам, относящимся ко всем продуктам разделения, концентрату и хвостам.

Методы оценки эффективности разделения полиметаллических руд. Эти методы в отличие от методов для монометаллических руд более разнообразны.

К. А. Разумов [5] при оценке результатов флотации полиметаллических руд использует сумму извлечений выделяемых металлов в соответствующие раздельные концентраты. Этот показатель, позднее использованный С. И. Митрофановым и В. Б. Бененсоном, характеризует эффективность разделения полиметаллической руды и представляет собой отношение суммы достигнутых извлечений выделяемых минералов (металлов) в раздельные концентраты к теоретически возможной. Знаменатель, одинаковый для всех руд с одинаковым числом металлов, извлекаемых в раздельные концентраты, можно при расчетах эффективности не учитывать. Таким образом, эффективность разделения полиметаллической руды по К. А. Разумову при получении двух концентратов

$$E = \varepsilon_1' + \varepsilon_2'', \tag{5}$$

где ε_1' и ε_2'' — извлечение первого и второго металлов (минералов) в одноименные концентраты, доли единицы от количеств соответствующих металлов в руде.

Доля участия каждого извлекаемого металла в величине E не зависит от состава обрабатываемой руды. Поэтому, как бы мало не было относительное содержание одного из компонентов руды, даже небольшие изменения в извлечении этого компонента в соответствующий концентрат получают отражение в значении E. Эта особенность рассматриваемого показателя эффективности разделения полиметаллических руд является одновременно и его недостатком, так как максимальному значению E могут не отвечать максимальные количества извлекаемых металлов в соответствующих концентратах. Кроме того, величина E в формуле (5) не учитывает качества концентратов.

Д. Даймонд [1] предлагает

$$E = \frac{\varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 - \varepsilon_3}{3} \tag{6}$$

где ε_1', и — извлечения выделяемых металлов (минералов) в соответствующие концентраты и породы в хвосты.

Формула (6) отличается от (5) только числом учитываемых частных извлечений. Значение E зависит теперь не только от извлечений металлов в соответствующие концентраты, но еще и от извлечения породы в хвосты. Это и позволяет отражать в величине E качество получаемых концентратов. Правда, при высоких содержаниях породы в исходной руде (бедные и убогие руды) такое изменение расчетной формулы может не достигать цели, так как малым изменениям извлечения породы в хвосты при постоянных извлечениях извлекаемых минералов в раздельные концентраты могут отвечать самые широкие изменения в составе концентратов. Величина E при этом будет изменяться также лишь незначительно.

По Г. Маделю и К. Наске [7],

$$E = \alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2 + \alpha_3 E_3 \qquad (7)$$

где α_1, α_2, α_3 — содержание соответствующих извлекаемых минералов и породы в исходном материале;

E_1, E_2, E_3 — эффективность разделения каждого компонента (извлекаемых минералов и породы), рассчитанная по формулам эффективности разделения монометаллических руд.

Доля участия каждого компонента в общем показателе здесь уже зависит от состава обрабатываемого материала.

И, наконец, И. М. Верховский [2] указывает на возможность оценки эффективности разделения полиметаллических руд с помощью выражений

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2} \qquad (8)$$

или

$$E = (\varepsilon_1' - \gamma') + (\varepsilon_2'' - \gamma''), \qquad (9)$$

где E_1 и E_2 — эффективность выделения первого и второго металлов в соответствующие концентраты, рассчитанная по формулам эффективности для монометаллических руд;

и γ'' выход первого и второго концентратов;

и ε_2'' — извлечение первого и второго металлов в соответствующие концентраты.

Эффективность разделения полиметаллических руд по среднему арифметическому частных значений E может рассчитываться лишь в ограниченном числе случаев при близких значениях α_1 и α_2 в исходной руде. Второй же показатель И. М. Верховского может рассматриваться как усовершенствованный показатель К. А. Разумова. Введение в расчетную формулу выходов первого и второго концентратов позволяет отражать в значении E качество получаемых концентратов.

Таким образом, эффективность разделения полиметаллических руд отличие от монометаллических определяется различными исследователями по-разному. Одни используют эффективность выделения отдельных составляющих исходной руды, рассчитанные по формулам эффективности разделения монометаллических руд, другие рекомендуют новые расчетные формулы, не связанные с формулами эффективности разделения монометаллических руд.

Новые расчетные формулы для оценки эффективности разделения полиметаллических руд. В целях установления единообразия в выборе наиболее удобного показателя эффективности разделения полиметаллических руд выведены расчетные формулы, основанные на положениях, принятых для монометаллических руд. Эффективность определялась по количествам действительно обогащенного материала и по приращениям извлекаемых минералов во всех продуктах разделения и только в концентратах. Для простоты принято, что разделяемая руда содержит три минерала, из которых два извлекаются при обогащении в раздельные концентраты, а третий выделяется в хвосты. Содержание минералов (металлов) в исходном материале и продуктах разделения α и β, выходы продуктов разделения γ и извлечение минералов в эти продукты ε условимся различать по индексам: штрихи показателя указывают на продукт, а цифровые индексы — на минералы, к которым относятся данные величины.

Тогда оценка эффективности разделения полиметаллических руд по отношению количеств действительно обогащенного материала во всех продуктах разделения выразится следующим образом.

В первом концентрате часть необогащенного материала, представленная извлекаемым минералом,

$$x = \gamma' \frac{(1-\beta_1')\,\alpha_1}{1-\alpha_1}$$

Общее количество необогащенного материала

$$a' = \gamma'(1-\beta_1') + x = \gamma' \frac{1-\beta_1'}{1-\alpha_1}$$

Отсюда количество действительно обогащенного материала в первом концентрате

$$q' \qquad - a' = \gamma' \frac{\beta_1' - \alpha_1}{1-\alpha_1}$$

Аналогично, количество действительно обогащенного материала во втором концентрате и хвостах

$$q'' = \gamma'' \frac{\beta_2'' - \alpha_2}{1-\alpha_2}$$

и

$$q''' = \gamma''' \frac{\beta_3''' - \alpha_3}{1-\alpha_3}$$

По этим данным эффективность разделения исходной руды, рассчитанная по отношению суммарного количества действительно обогащенного материала во всех продуктах к количеству его при полном разделении руды

$$E = \frac{q' + q'' + q'''}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} = q' + q'' + q'''$$

$$= \gamma' \frac{\beta_1' - \alpha_1}{1-\alpha_1} + \gamma'' \frac{\beta_2'' - a_2}{1-\alpha_2} + \gamma''' \frac{\beta_3''' - \alpha_3}{1-\alpha_3}$$

Умножив и разделив каждое слагаемое правой части равенства соответственно на α_1, α_2, α_3, получаем

$$E = \alpha_1 \frac{\varepsilon_1' - \gamma'}{1-\alpha_1} + \alpha_2 \frac{\varepsilon_2 - \gamma''}{1-\alpha_2} + \alpha_3 \frac{\varepsilon_3''' - \gamma'''}{1-\alpha_3} =$$

$$= \frac{\alpha_1(1-\alpha_2)(1-\alpha_3)(\varepsilon_1' - \gamma') + \alpha_2(1-\alpha_1)(1-\alpha_3)(\varepsilon_2'' - \gamma'') + \alpha_3(1-\alpha_1)(1-\alpha_3)(\varepsilon_3''' - \gamma''')}{(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)(1-\alpha_3)} \qquad (10)$$

или, что предлагают Г. Мадель и К. Наске,

$$E = \alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2 + \alpha_3 E_3. \qquad (11)$$

Оценивая эффективность разделения полиметаллической руды по количествам обогащенного материала только в первом и втором концентратах, получим

$$E = \alpha_1 \frac{\varepsilon_1' - \gamma'}{(1-\alpha_1)(\alpha_1 + \alpha_2)} + \alpha_2 \frac{\varepsilon_2 - \gamma''}{(1-\alpha_2)(\alpha_1 + \alpha_2)} =$$

$$= \frac{\alpha_1(1-\alpha_2)(\varepsilon_2' - \gamma') + \alpha_2(1-\alpha_1)(\varepsilon_2'' - \gamma'')}{(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)(\alpha_1 + \alpha_2)} \qquad (12)$$

или

$$E = \frac{\alpha_1 E_1 + \alpha_2 E_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \qquad (13)$$

Величина E, как следует из формул (11) и (13), будет для данного опыта иметь различное значение в зависимости от того, по каким продуктам учитывается количество действительно обогащенного материала: только в концентратах или во всех продуктах разделения.

Оценка эффективности разделения полиметаллической руды по отношению приращений извлекаемых минералов в продуктах обработки приведет, очевидно, к различным значениям E в зависимости не только от числа учитываемых продуктов, но и от способа оценки приращений в относительных или абсолютных единицах. При выражении приращений в относительных единицах доля участия каждого компонента руды в величине E становится одинаковой, а при абсолютных приращениях зависит от среднего содержания каждого компонента в руде.

Действительно, полученные в опыте приращения количеств извлекаемых минералов в отдельных продуктах разделения, выраженные в долях единицы от количеств этих минералов в исходной руде (относительные приращения),

$$\Delta q_{\text{отн}} = \frac{\gamma(\beta - \alpha)}{\alpha} = \varepsilon - \gamma$$

При полном разделении исходного материала ($\beta = 1$ и $= \alpha$) те же величины получат значения

$$\Delta Q_{\text{отн}} = 1 \quad \alpha.$$

Отсюда эффективность разделения полиметаллической руды, рассчитываемая по отношению суммарных относительных приращений во всех продуктах разделения

$$E = \frac{(\varepsilon_1' - \gamma') \quad (\varepsilon_2 - \gamma'') + (\varepsilon_3''' - \gamma''')}{(1 - \alpha_1) + (1 - \alpha_2) \; + (1 - \alpha_3)} = \frac{\varepsilon_1' + \varepsilon_2 + \varepsilon_3''' - 1}{2} \qquad (14)$$

Выражение (14) внешне сходно с формулой Д. Даймонда, хотя выведено на другой основе и приводит к другим, более удобным пределам изменений значений E — от 0 до 1.

Если каждое слагаемое числителя уравнения (14) умножить и разделить соответственно на $1 - \alpha_1$, $1 - \alpha_2$ и $1 - \alpha_3$, то уравнение, определяющее эффективность разделения полиметаллической руды по тому же признаку, получит вид

$$E = \frac{(1 - \alpha_1) E_1 \quad (1 - \alpha_2) E_2 + (1 - \alpha_3) E_3}{(1 \; - \alpha_1) + (1 - \alpha_2) + (1 - \alpha_3)} \qquad (15)$$

Оценивая эффективность разделения полиметаллической руды только по суммарным относительным приращениям извлекаемых минералов в концентратах, получаем

$$E = \frac{(\varepsilon_1' - \gamma') + (\varepsilon_2 - \gamma'')}{(1 - \alpha_1) - (1 - \alpha_2)} \qquad (16)$$

Предложенный ранее [8] числитель формулы (16) повторяет одну из формул И. М. Верховского. Преобразуя эту формулу, аналогично уравнению (14), получаем

$$E = \frac{(1 - \alpha_1) E_1 + (1 - \alpha_2) E_2}{(1 - \alpha_1) + (1 - \alpha_2)} \qquad (17)$$

Абсолютные приращения извлекаемых минералов в отдельных продуктах разделения, достигнутые в опыте,

$$\Delta q_{\text{абс}} = \gamma(\beta - \alpha).$$

Абсолютные приращения при полном разделении руды ($\gamma = \alpha$ и $\beta = 1$)

$$\Delta Q_{\text{абс}} = \alpha(1 - \alpha).$$

Отсюда эффективность разделения руды, рассчитанная по отношению суммарных абсолютных приращений извлекаемых минералов во всех продуктах разделения,

$$E = \frac{\gamma'(\beta_1' - \alpha_1) + \gamma''(\beta_2'' - \alpha_2) + \gamma'''(\beta_3''' - \alpha_3)}{\alpha_1(1 - \alpha_1) + \alpha_2(1 - \alpha_2) + \alpha_3(1 - \alpha_3)}$$

Откуда следует

$$E = \frac{\alpha_1(\varepsilon_1' - \gamma') + \alpha_2(\varepsilon_2'' - \gamma'') + \alpha_3(\varepsilon_3''' - \gamma''')}{\alpha_1(1 - \alpha_1) + \alpha_2(1 - \alpha_2) + \alpha_3(1 - \alpha_3)} \tag{18}$$

Преобразованием уравнения (18) получается другое выражение для эффективности разделения, рассчитанное по тому же признаку, но выраженное через частные значения эффективностей разделения

$$E = \frac{\alpha_1(1 - \alpha_1)E_1 + \alpha_2(1 - \alpha_2)E_2 + \alpha_3(1 - \alpha_3)E_3}{\alpha_1(1 - \alpha_1) + \alpha_2(1 - \alpha_2) + \alpha_3(1 - \alpha_3)} \tag{19}$$

Оценка эффективности по отношению суммарных абсолютных приращений извлекаемых минералов только в концентратах

$$E = \frac{\alpha_1(\varepsilon_1' - \gamma') + \alpha_2(\varepsilon_2 - \gamma'')}{\alpha_1(1 - \alpha_1) + \alpha_2(1 - \alpha_2)} \tag{20}$$

Формула (20) при $\alpha_1 = \alpha_2$ обращается, как и следовало ожидать, в формулу (16)

Преобразование формулы (16) дает еще одно выражение для эффективности разделения, рассчитанное по абсолютным приращениям извлекаемых минералов в концентратах

$$E = \frac{\alpha_1(1 - \alpha_1)E_1 + \alpha_2(1 - \alpha_2)E_2}{\alpha_1(1 - \alpha_1) + \alpha_2(1 - \alpha_2)} \tag{21}$$

Все выведенные формулы для расчета эффективности разделения полиметаллических руд по различным определяющим признакам представлены двумя группами.

1. Формулы, основанные на расчёте общей эффективности по выходам продуктов разделения и извлечения отдельных минералов руды (или группы металлов) в эти продукты. Эти формулы удобны при практических расчетах, когда используются данные каждого отдельного сообщения о результатах опыта (специально рассчитываются лишь содержания минералов в исходной руде).

2. Формулы, выражающие общую эффективность через частные эффективности выделения отдельных минералов (или группы минералов). Здесь необходимы расчеты частных эффективностей, что связано затратой значительного времени.

Таким образом, признаки, используемые при оценке эффективности разделения монометаллических руд, можно с успехом распространить на полиметаллические руды. Расчетные формулы для руд сложного состава, в отличие от формул для простых руд, получают различное выражение в зависимости от используемого признака эффекта разделения

(количества действительно обогащенного материала или приращения извлекаемых минералов) и учитываемых продуктов разделения (все продукты разделения или только концентраты)

Некоторые из выведенных формул для расчета эффективности разделения полиметаллических руд повторяют уже известные формулы или уточняют их и поясняют особенности их применения.

Сравнение различных методов оценки эффективности разделения полиметаллических руд. На примере обогащения пробы медно-цинковой руды значение E вычислено по различным определяющим признакам. Исходные данные, заимствованные из работы К. А. Разумова и М. М. Ометова [5], представляют собой результаты одной серии опытов над пробой руды, содержащей сфалерит в количестве, значительно превышающем халькопирит. При расчетах минерального состава руды и продуктов разделения принималось, что медь представлена халькопиритом, а цинк — цинковой обманкой, содержащей около 55% Zn. Содержание породы определялось по разности. Состав исходной руды по этим расчетам оказался следующим: халькопирит 10,6%, цинковая обманка 31,4% и порода 58%.

Результаты опытов флотации пробы руды, расположенные в порядке возрастания суммарного извлечения меди и цинка в одноименные концентраты, приведены в табл. 1. В первых четырех опытах этой серии при одинаковом примерно извлечении меди в медный концентрат оказалось различным извлечение цинка в цинковый концентрат. В остальных четырех опытах при понижении извлечения меди возрастает извлечение цинка в одноименные концентраты. Значения эффективности разделения испытанной пробы руды по различным определяющим признакам сведены в табл. 2.

В приведенном примере хорошо согласуются различные методы оценки эффективности разделения. Максимальные значения E по любому определяющему признаку приходятся

Таблица

Результаты флотации пробы медно-цинковой руды

Выход, %	Медный концентрат				Цинковый концентрат				Хвосты				Руда			
	Содержание, %		Извлечение, %		Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Выход, %	Содержание, %	
	Cu	Zn	Cu	Zn		Cu	Zn	Cu	Zn		Cu	Zn	Cu	Zn		Cu	Zn
19,4	12,67	20,34	68,2	22,4	38,9	2,04	32,97	22,1	73,0	41,7	0,83	1,93	9,7	4,6	100	3,57	17,56
18,5	13,46	23,08	69,8	23,4	37,9	2,00	35,10	20,9	72,4	43,6	0,89	1,74	9,3	4,2	100	3,62	18,31
18,5	14,45	15,45	70,5	17,2	32,2	1,84	40,50	15,6	78,2	49,3	1,07	1,65	13,9	4,6	100	3,80	16,65
20,9	12,38	12,25	69,9	15,0	38,6	1,78	35,44	18,6	79,9	40,5	0,92	1,88	11,5	5,1	100	3,71	17,07
28,1	10,59	10,83	79,0	20,6	33,7	1,54	37,68	13,7	75,2	38,2	0,73	1,88	7,3	4,2	100	3,79	16,97
21,2	12,67	11,30	75,0	14,2	38,5	1,61	35,60	17,2	81,3	40,3	0,70	1,88	7,8	4,5	100	3,60	16,88
17,0	14,65	11,30	70,7	11,0	38,8	1,75	38,62	19,2	85,7	44,2	0,81	1,30	10,1	3,3	100	3,54	17,49
13,8	17,72	8,85	67,2	7,1	40,9	1,91	37,70	21,4	89,6	45,3	0,92	1,27	11,4	3,3	100	3,64	17,20

на одни и те же опыты. В этом отношении, следовательно, все выведенные расчетные формулы равноценны. С другой стороны, различия между крайними значениями эффективности по каждому признаку получаются наибольшими при расчете значений E только по концентратам. Расчет E по всем продуктам флотации при высоком содержании породы в исходном материале дает менее различные от опыта к опыту результаты. Если учесть еще и необходимость в последнем случае довольно громоздких расчетов, определяющих результаты выделения породы в хвосты, то преимущество оценки эффективности разделения только по концентратам становится очевидным. Специальные расчеты сводятся при этом лишь к определению исходных содержаний извлекаемых минералов в руде. Выход и извлечение содержатся в каждой сводке результатов опытов разделения.

Таблица 2

Эффективность разделения пробы медно-цинковой руды

Исходные данные, %					Эффективность разделения, %					
					по количеству действительно обогащенного материала		по относительному приращению извлекаемых минералов		по абсолютному приращению извлекаемых минералов	
ε'_1	ε''_2	ε'''_3	ε'_1	$\frac{\varepsilon'_1+\varepsilon''_2+\varepsilon'''_3}{3}$	во всех продуктах	в концентратах	во всех продуктах	в концентратах	во всех продуктах	в концентратах
68,2	73,0	68,2	141,2	69,8	48,0	50,9	54,7	52,5	56,5	51,2
69,8	72,4	73,2	142,2	71,8	52,5	54,1	58,7	55,4	61,3	54,2
70,5	78,2	78,9	148,7	75,9	56,9	64,7	63,8	63,0	67,0	64,2
69,9	79,9	64,9	149,8	71,6	49,2	58,8	57,4	57,2	58,3	58,5
79,0	75,2	62,2	154,2	72,2	49,1	59,5	58,3	58,5	58,4	59,4
75,0	81,3	64,7	156,3	73,7	50,3	61,9	60,5	61,2	60,0	61,7
70,7	85,7	72,7	156,4	76,4	56,5	66,3	64,6	63,7	66,7	65,5
67,2	89,6	74,0	156,8	76,9	57,3	68,2	65,4	64,6	67,9	67,4

Табл. 2 позволяет еще показать и значение расчетов эффективности разделения при анализе опытных данных. Последние три опыта использованной серии (см. табл. 1, 2) дали одинаковые суммарные извлечения меди и цинка в одноименные концентраты. Расчет эффективности разделения позволяет выбрать из этих трех опытов лучший, а следовательно, установить и оптимальные условия разделения руды.

ВЫВОДЫ

1. Для оценки общей эффективности разделения полиметаллических руд наибольшего внимания из числа выведенных формул заслуживает формула (20), определяющая эффективность разделения полиметаллических руд по абсолютным приращениям извлекаемых минералов (металлов) в концентраты.

2. Расчет эффективности разделения по относительным приращениям извлекаемых минералов в концентраты [формула (16)] уравнивает долю участия каждой составляющей руды в величине общего показателя и поэтому максимальная эффективность разделения руды, рассчитанная по этому признаку, может не отвечать максимальному количеству металла в полученных концентратах. Такой показатель следует использовать лишь при анализе результатов испытаний проб руды с резко различным содержанием извлекаемых минералов. Расчеты по абсолютным приращениям в этом случае не учтут изменения в результатах обогащения минерала, находящегося в подчиненном количестве.

3. Для бедных и убогих руд расчет эффективности разделения по приращениям извлекаемых минералов во всех продуктах разделения нецелесообразен, так как изменение в составе концентратов и их выходов при этом менее сказывается на значении E. Кроме того, определение эффективности разделения руды по этим признакам связано с дополнительными сложными расчетами по определению извлечения породы в хвосты.

4. Расчет эффективности по действительно обогащенному материалу применительно к полиметаллическим рудам теряет свою определенность, так как состав «необогащенного материала» не только будет отличаться от состава исходной руды, но и от опыта к опыту.

5. Если извлекаемые минералы обладают различной ценностью, в расчетные формулы следует вводить стоимостные коэффициенты. Это удобно при расчете эффективности разделения руды по абсолютным приращениям извлекаемых минералов в концентраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таггарт А. Справочник по обогащению полезных ископаемых. Т. III. ОНТИ, 1933.

2. Верховский И. М. Основы проектирования и оценки процессов обогащения полезных ископаемых. Углетехиздат, 1949.

3. Люйкен В. Определение максимума технической и экономической эффективности обогатительного процесса. ОНТИ, 1932.

4. Тюренков Н. Г Единый метод оценки эффективности обогатительных процессов. Металлургиздат, 1952.

5. Разумов К. А., Ометов М. М. Обогащение медно-цинковых и медных руд месторождений Калатинского комбината. ОНТИ, 1932.

6. Митрофанов С. И., Бененсон В. Д. Влияние количества воздуха в агитационных машинах на скорость флотации и металлургические результаты. Горно-обогатительный журнал, 1937, № 5.

7. Мадель Г Наске К. Механическое разделение материалов. Госхимиздат, 1940.

8. Осолодков Г. А. О показателе селективности процесса флотации. Цветные металлы, 1950, № 1.