

Эффективность использования минерального сырья и связанные с ней экологические проблемы

В настоящее время добыча и переработка полезных ископаемых связана со значительными потерями минерального сырья. Эффективность использования минеральных ресурсов снижается при непосредственной добычи в результате необходимости оставления в недрах предохранительных блоков, технологических потерь полезных ископаемых в очистных выработках; при транспортировке; при обогащении полезного ископаемого и в результате разубоживания. Потеря полезного ископаемого при эксплуатации месторождения – это та часть балансовых запасов, которая не извлекается из недр, а также добытая и отправленная в породные отвалы или оставленная на местах складирования, погрузки и транспортировки. При подземном способе добычи потери угля сегодня составляют от 20 до 30 %, на карьерах потери угля достигают 10 %. При добыче железных руд открытым способом потери составляют 3 - 5 %. При добыче вольфрамомолибденовых руд потери достигают при подземных добычах 10-12%, при открытой добычи 3-5%. При разработке наиболее сложных ртутных, редкометалльных и золоторудных месторождений потери могут достигать 30%. Общие потери полезных ископаемых при добыче и переработке руд составляет 25-30%, из которых 10-12 % потерь приходится на добычу.

Такие потери ведут к осваиванию новых месторождений, а следовательно к отторжению новых земель из земельного фонда, их нарушению и загрязнению. Поэтому создание более прогрессивных технологий разработки месторождений, снижающих потери полезных ископаемых, является не только экономической задачей, но и важной экологической задачей. Такой же важной экологической задачей является снижение разубоживание полезных ископаемых. Например, разубоживание при добыче железных руд в целом достигает 3-4 %, при добыче медных руд – 7-8%, при добыче свинцово-цинковых руд в зависимости от способа добычи – от 12-20%. Разубоживание ведет к тому, что вовлекается в процесс переработки и обогащения от 20 до 25 % больше горной массы, чем это могло бы быть при чистой выемки полезного ископаемого. А это также ведет к изъятию дополнительных земель из земельного фонда, их нарушению и загрязнению.

Современные технологии переработки и обогащения полезных ископаемых не дают возможности извлечь полностью ценный компонент из руды, поэтому отходы складываются до лучших времен, когда с появлением более прогрессивной технологии будет возможно извлечение ценного компонента из малоцентрированного сырья. Такие отходы обогатительных фабрик называют **хвостами**. **Хвосты** – это отходы, возникающие при обогащении полезных ископаемых, в которых содержание ценного компонента ниже, чем в исходной руде. Такие отходы

Хвостохранилище устраивается на расстоянии не более первых километрах от обогатительной фабрики в естественных замкнутых или полузамкнутых котловинах или понижениях. В случае отсутствия естественных понижений, хвостохранилище огораживается дамбой из попутно-извлекаемых минеральных ресурсов или намываются из тех же хвостов. Создание хвостохранилища также приводит к отторжению земель, их нарушению и загрязнению, а поэтому более полное извлечение ценного компонента при обогащении не только является экономической задачей, но и важной экологической проблемой.

Большое количество часто не используемых сопутствующих минеральных ресурсов и попутно-извлекаемых минеральных ресурсов приводит к значительным экономическим затратам и сопровождается экологическими проблемами не только для территории их складирования, но и для окружающих территорий с точки зрения их загрязнения. Поэтому важной экономической и экологической задачей является комплексное использование сопутствующих и попутно-извлекаемых минеральных ресурсов.

Анализ эффективности использования минеральных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых включает в себя оценку:

1. Геологической изученности района и обеспеченности производства разведанными запасами минерального сырья на планируемый период и последующие годы.
2. Оценку эффективности работ по добыче и переработке минерального

При анализе эффективности использования минеральных ресурсов в случае разработки месторождения в качестве исходной документации являются геологические карты, планы и разрезы месторождения. На планах и разрезах указываются балансовые и забалансовые запасы полезного ископаемого и категории их разведанности. В объяснительных записках к ним даются сведения о вмещающих породах, наличии водонапорных горизонтов, загазованности участков массива пород, мест геологических нарушений и другие инженерно-геологические и гидрологические данные, необходимые для выбора и обоснования мероприятий по рациональному использованию минеральных ресурсов и охране недр.

Оценка эффективности использования минеральных ресурсов для конкретного месторождения производится отдельно для главных (основных), сопутствующих и попутно-извлекаемых минеральных ресурсов. *Эффективность использование главных минеральных ресурсов месторождения оценивается по 4 направлениям:*

- Эффективность использования балансовых запасов.
- Эффективность охраны забалансовых запасов.
- Экологические изменения в результате добычи и переработки главных минеральных ресурсов.
- Экономических ущерб в результате нерационального использования минеральных ресурсов и экологических изменений в природной среде.

Эффективность использования балансовых запасов

Полнота и качество отработки балансовых запасов месторождений выражаются коэффициентом извлечения полезного ископаемого из недр и коэффициентом качества.

Коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр

$$K_{и} = \frac{D * a}{B_{п} * c}, \text{ где}$$

D – объем добытого полезного ископаемого,

A - содержание главного полезного компонента в добытой руде,

B_п – объем погашенных (использованных, добытых) балансовых запасов,

c – содержание главного полезного компонента в погашенных балансовых запасах.

Коэффициент качества – представляет собой отношение содержания главного полезного компонента в добытой руде к содержанию его же в погашенных балансовых запасах

$$K_{к} = \frac{a}{c}, \text{ где}$$

a - содержание главного полезного компонента в добытой руде,

c – содержание главного полезного компонента в погашенных балансовых запасах.

Наряду с этими показателями, используются показатели, характеризующие потери и разубоживание полезного ископаемого.

Коэффициент потерь главного полезного компонента, измеряется в % и рассчитывается по формуле:

$$K_{п.и} = \frac{П}{B_n} * 100, \text{ где}$$

П – количество потерянных запасов полезного ископаемого,
B_п – объем погашенных (использованных) балансовых запасов.

Разубоживание:

$$P = \frac{C_1 - C_2}{C_1} * 100 = (1 - K_k) * 100 = \frac{B}{D} * 100, \text{ где}$$

C₁ – содержание полезного компонента в руде, находящейся в недрах,
C₂ – содержание полезного компонента в добытой руде,
K_к – коэффициент качества,
B – количество породы, примешанной в полезное ископаемое,
D – объем добытого полезного ископаемого.

Уровень полноты использования минеральных ресурсов характеризуется также **коэффициентом безотходности** (K_6) в процентах.

K_6 выражается отношением суммарного физического объема всех минеральных ресурсов, добываемых горным предприятием, к массе добытой из недр попутно-извлекаемых ресурсов и некондиционного сырья.

$$K_6 = \frac{D}{B_n + Q_b} * 100, \text{ где}$$

D – суммарный физический объем минеральных ресурсов, добытых горным предприятием,

$B_n + Q_b$ - суммарный объем вскрышных пород и некондиционного сырья.

Повышение полноты использования минерального сырья осуществляется на основании **норматива прироста коэффициента безотходности**, который устанавливается по разности между технически достижимым (возможным) коэффициентом безотходности и фактическим коэффициентом безотходности:

$$\Delta K_6 = K_6^T - K_6^Ф$$

Важнейшим показателем уровня комплексного использования минерального сырья является **коэффициент полноты извлечения главного полезного компонента при обогащении** минерального сырья. Он выражается отношением суммарного количества главного полезного компонента, перешедшего во все виды товарной продукции и полуфабрикатов к тому его количеству, которое содержится в минеральном сырье, поступившем на переработку.

$$K_{\text{п.и.о.}} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i * b_i}{Q * a}$$

n – количество видов товарной продукции или полуфабрикатов, в которые переходит главный компонент,

A_i – количество i -той товарной продукции или полуфабрикатов, в которых содержится главный полезный компонент,

b_i – содержание главного полезного компонента в i -той товарной продукции или полуфабрикате,

Q – количество минерального сырья, поступившего на переработку,

a – содержание главного полезного компонента в минеральном сырье, поступившем на переработку.

Разность между технически достижимым и фактически достигнутым коэффициентами полноты извлечения главного полезного компонента дает возможность представить резерв повышения полноты извлечения полезного компонента и является нормативом прироста полноты извлечения.

Результирующим показателем уровня комплексного использования минерального сырья является **коэффициент комплексности**, представляющий собой отношение ценности извлекаемых главных полезных компонентов к стоимости всех полезных компонентов в исходном сырье по оптовым ценам.

$$K_{\text{к.к.}} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i * C_i}{\sum_{i=1}^m H_i * C_i}, \text{ где}$$

M_i – количество i -го полезного компонента, перешедшего в соответствующий вид товарной продукции,

H_i – количество i -го полезного компонента, содержащегося в исходном минеральном сырье в тоннах,

C_i – оптовая цена i -го полезного компонента,

n – количество извлеченных полезных компонентов,

m – количество всех полезных компонентов в исходном минеральном сырье.

Эффективность охраны забалансовых запасов

Эффективность охраны забалансовых запасов оценивается по потерям этих запасов. Потери забалансовых запасов связаны со снижением их качества в результате развития систем трещин при выемки балансовых запасов, действия физических, химических и биологических процессов, изменяющих содержание минеральных компонентов в массиве пород. На практике встречаются случаи, когда в результате выемки балансовых запасов разработка части или даже всех забалансовых запасов становится невозможной из-за развития зон обрушения, затопления и других последствий работы горнодобывающего предприятия.

Общее количество потерь забалансовых некондиционных минеральных ресурсов в результате ведения горных работ по выемке кондиционных минеральных ресурсов оценивается по **коэффициенту безвозвратных потерь**:

$$K_{\text{п.н.з.}} = \frac{P_{\text{н.к.}}}{Q_{\text{н.к.}}}, \text{ где}$$

$P_{\text{н.к.}}$ – кол-во некондиционных запасов, добыча которых стала невозможной в результате проведения горных работ по выемке кондиционных запасов на выделенном участке месторождения,

$Q_{\text{н.к.}}$ – общее кол-во некондиционных запасов минерального сырья на выделенном участке месторождения.

Эффективность складирования и хранения некондиционных запасов

Эффективность складирования и хранения некондиционных запасов, выданных на поверхность оценивается по величине **коэффициента консервации** и **коэффициента эффективности охраны некондиционных запасов** в период их хранения. Коэффициент консервации характеризует эффективность горных работ по добыче, транспортированию и складированию некондиционного минерального сырья и сохранность в нем главных минеральных ресурсов:

$$K_{\text{конс}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(q_i - \Pi_i)}{q_i}, \text{ где}$$

n – количество главных минеральных ресурсов, консервируемых в отвалах,

q_i – запасы каждого минерального ресурса в некондиционных рудах,

Π_i – общие потери некондиционного минерального ресурса, которые складываются из потерь в недрах при добычи, с выбросами в воздушный бассейн и сбросами в водную среду.

В период хранения законсервированных некондиционных запасов в них изменяется содержание полезных компонентов в результате эрозии и дефляции отвалов, а так же из-за развития процессов химического и биологического выщелачивания. Зафиксированы случаи, когда законсервированные минеральные ресурсы со временем вообще теряют свою ценность как сырье для горноперерабатывающей промышленности.

Для определения эффективности охраны некондиционных запасов, законсервированных в отвалах или специальных хранилищах используется **коэффициент эффективности охраны некондиционных запасов** :

$$K_{\text{эф. охр}} = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{n} * N_{\text{общ}}, \text{ где}$$

n – количество главных минеральных ресурсов, входящих в состав некондиционных запасов,

K_i – коэффициент эффективности хранения отдельного главного минерального ресурса, входящего в состав некондиционных запасов,

$N_{\text{общ}}$ - коэффициент относительного изменения общих технологических свойств минерального сырья, который находится по формуле:

$$N_{\text{общ}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{L_i \pm \text{дельта } L_i}{L_i}, \text{ где}$$

m – количество критериев качества минерального сырья, изменяющихся в результате хранения в отвалах,

L_i – показатель качества добытого некондиционного минерального сырья и отправленного в отвалы,

дельта L_i – отклонение показателя качества минерального сырья в процессе его хранения.

$K_i = \underline{1}$, где

В

В – относительные потери отдельного минерального ресурса в течение заданного периода его хранения, вычисляются по формуле:

$$B = \frac{P_{\text{деф}} + P_{\text{эр}} + P_{\text{хв}} + P_{\text{бв}} + P_{\text{т}}}{q_i}, \text{ где}$$

$P_{\text{деф}}$, $P_{\text{эр}}$, $P_{\text{хв}}$, $P_{\text{бв}}$, $P_{\text{т}}$ – потери отдельного минерального ресурса в результате соответственно процессов дефляции, эрозии, химического выщелачивания, биологического выщелачивания и технологические потери, в том числе потери использования минеральных ресурсов не по назначению, например, для закладки выработанных пространств, заполнения провалов на поверхности, строительства дорог, дамб и др.,

q_i – запасы отдельного минерального ресурса, поступившие в отвал (или в хвостохранилище) для консервации.

Все показатели эффективности охраны забалансовых (некондиционных) запасов вычисляются на стадии проектирования, а затем уже при разработке месторождения делаются фактические расчеты. Их сравнение дает возможность определить и в дальнейшем снизить путем соответствующих мероприятий потери полезного ископаемого.

Экологические изменения в результате добычи и переработки главных минеральных ресурсов

В результате извлечения из недр и переработки сырья происходит нарушение земель, деградация почвы, загрязнение водного и воздушного бассейнов соответственно сбросами и выбросами. В результате на прилегающей территории снижается продуктивность сельскохозяйственных, лесных, рыбных и других угодий. Поэтому большое значение имеют учет и оценка экологических изменений в зоне влияния горно-перерабатывающих предприятий.

Характер экологических изменений, происходящих в результате нарушений земель в пределах земельного отвода, оценивается по величине **коэффициента экологических последствий отчуждения земель для земельных отводов предприятий.** Он рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{эк.з.о.}} = \sum_{i=1}^n \underline{f_i * c_i}, \quad \text{где}$$

Qм.с.

f_i – площадь i -го сельскохозяйственного, лесного и другого угодья, оказавшееся в границах земельного отвода горного предприятия;

c_i – первоначальная средняя стоимость сельскохозяйственной, лесной и другой продукции, получаемой с единицы площади i -го угодья. Определяется по данным прежних землепользователей;

$Q_{\text{м.с.}}$ – общий объем добытого кондиционного минерального сырья, содержащего главные минеральные ресурсы или объем продукции (полуфабриката), перерабатываемого предприятием;

i – количество выделенных угодий в пределах земельного отвода горного предприятия.

Последствия экологических изменений за пределами земельного отвода

Последствия экологических изменений и эффективность природоохранных мероприятий по ликвидации последствий экологических изменений за пределами земельного отвода оцениваются по величине **коэффициента экологических последствий по деградированным угодыям** и по величине **коэффициента экологической эффективности природоохранных мероприятий**, которые выглядят следующим образом:

$$K_{\text{эк.д.у.}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * (C_i - L_i)}{Q_{\text{м.с.}}},$$

$$K_{\text{эф.о.м.}} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i * (C_i - L_i)}{S_i * C_i}, \quad \text{где}$$

S_i – площадь i -го деградированного угодыя за пределами земельного отвода, оказавшееся в зоне влияния предприятия;

C_i – первоначальная средняя стоимость сельскохозяйственной, лесной и другой продукции, получаемой с единицы площади i -го угодыя (по данным прежних землепользователей);

L_i – средняя стоимость сельскохозяйственной, лесной и другой продукции, получаемой в течении года с i -го деградированного угодыя;

n – количество деградированных угодий за пределами земельного отвода предприятия;

$Q_{\text{м.с.}}$ – общий объем добытого кондиционного минерального сырья или объем полуфабриката перерабатывающего предприятия (обоганительной фабрики).

Экологические последствия складирования некондиционных запасов оцениваются по величине **коэффициента экологических последствий отчуждения земель при складировании некондиционных запасов минерального сырья,**

Н.З.

$$K_{\text{эк.з.о.}} = \sum_{i=1}^n f_i * c_i, \text{ где}$$

Q_{м.с.}

f_i – площадь i -го сельскохозяйственного, лесного и другого угодья, оказавшееся под отвалами;

c_i – первоначальная средняя стоимость сельскохозяйственной, лесной и другой продукции, получаемой с единицы площади i -го угодья. Определяется по данным прежних землепользователей;

$Q_{\text{м.с.}}$ – общий объем добытого кондиционного минерального сырья, содержащего главные минеральные ресурсы или объем продукции (полуфабриката), перерабатываемого предприятием;

n – количество угодий, оказавшихся под отвалами.

Экономический ущерб в результате нерационального использования минеральных ресурсов и экологических изменений в природной среде.

Это последнее направление по оценке эффективности использования главных минеральных компонентов. Оценивается показателями, характеризующими величину экономического ущерба.

Ущерб от потерь в недрах. Выражается произведением количества недоизвлеченного минерального ресурса на его ценность.

$Y_{\text{н}} = B_{\text{н}} (K_{\text{н}}^{\text{п}} - K_{\text{н}}^{\text{ф}}) * Ц$, где

$B_{\text{н}}$ – объем погашаемых балансовых запасов;

$K_{\text{н}}^{\text{п}}$, $K_{\text{н}}^{\text{ф}}$ – коэффициенты извлечения запасов из недр плановый (проектный) и фактический;

$Ц$ – ценность одной единицы (тонны) недоизвлеченных запасов.

$Ц = \frac{Ц_{\text{опт}} - Z_{\text{пр}}}{P}$, где

$Ц_{\text{опт}}$ – оптовая цена единицы конечной товарной продукции;

$Z_{\text{пр}}$ – затраты, предстоящие на получение единицы конечной продукции;

P – удельный расход балансовых запасов на получение единицы конечной товарной продукции.

$$Z_{\text{пр}} = C_{\text{пр}} + K_{\text{уд пр.}}, \text{ где}$$

$C_{\text{пр}}$ – предстоящие эксплуатационные расходы на добычу одной тонны теряемых запасов;

$K_{\text{уд пр}}$ – предстоящее капитальное вложения, необходимые для извлечения одной тонны теряемых запасов.

Этот ущерб от потерь в недрах ($Y_{\text{п}}$) сказывается на таком важном экономическом показателе, как **величина прибыли:**

$$P_c = \sum_{i=1}^n (C_i - c_i) * Q_{\text{год } i} - Y_{\text{п}}, \text{ где}$$

c_i – оптовая цена одной тонны i -той конечной продукции;

C_i – себестоимость производства одной тонны i -той конечной продукции;

$Q_{\text{год } i}$ – годовой объем производства i -той конечной продукции;

$Y_{\text{п}}$ – величина ущерба от потерь в недрах;

n – количество различных видов конечной продукции.

В то же время величина прибыли, а следовательно и ущерб от потерь в недрах влияет на эффективность капитальных вложений (E):

$$E = \frac{P_c}{K} = \frac{(C_i - c_i) * Q_{\text{год } i} - Y_{\text{п}}}{K}, \text{ где } K \text{ – общие капитальные вложения в}$$

разведку месторождения, проектирование и строительство горного предприятия, освоение и поддержание действующей мощности, а также в охрану и рациональное использование минеральных ресурсов.

Кроме этого ущерб от потерь в недрах (Уп) влияет на рентабельность производства (R):

$$R = \frac{\text{Пбал} - \text{Уп}}{\text{Фосн} - \text{Фоб}}, \text{ где}$$

Пбал – балансовая прибыль от реализации всех видов продукции и услуг;

Фосн – среднегодовая стоимость основных производственных фондов горного предприятия;

Фоб – среднегодовая стоимость оборотных средств;

Уп – ущерб от потерь в недрах.

Для выбора наиболее экономичных способов добычи, системы разработки и технологии добычи для каждого варианта рассматривается прибыль, эффективность капитальных вложений и рентабельность с учетом ущерба наносимого в результате потерь полезного ископаемого, а также экологического ущерба (нарушений и загрязнений природной среды).

Экологический ущерб от деятельности горнорудных предприятий

Любой экологический ущерб складывается из ущербов, нанесенных отдельным компонентам природной среды.

Например, сумма ущерба от нарушения гидрогеологического режима в результате осушения (например, осушение карьера) складывается от истощения запасов качественных вод, от переноса водозаборов и снижения урожайности с\х культур.

Ущерб от истощения запасов качественных вод ($Y_{к.в.}$):

$$Y_{к.в.} = \Delta V_{п.з.} (C_1 + K_1) + \Delta V_{п.з.} (C_2 + K_2), \text{ где}$$

$\Delta V_{п.з.}$ – объем качественных вод, потерянных в результате осушения;

C_1 и C_2 – себестоимость поиска и разведки одного куб. метра качественных вод соответственно до осушения и после осушения;

K_1 и K_2 – соответственно удельные капитальные вложения для поиска и разведки одного куб метра качественных вод до осушения и после осушения.

Ущерб от переноса водозаборов ($Y_{п.в.}$)

$$Y_{п.в.} = \sum_{i=1}^n \{(V-\Delta V)(C_2-C_1+K_{доп}) + \Delta V(C_3+K_3)+K_{нр.} \Delta V\}, \text{ где}$$

n – число водозаборов

V и ΔV - годовой дебит водозабора соответственно до осушения и снижение в следствии осушения;

C_1 и C_2 – себестоимость одного куб метра качественных вод на водозаборе соответственно до и после осушения;

C_3 – себестоимость одного куб метра воды на водозаборе, построенном для восполнения потребностей в воде;

$K_{доп}$ и K_3 –дополнительные удельные капитальные вложения соответственно на действующем водозаборе и вновь построенном

$K_{нр.}$ – удельные капитальные вложения не реализуемые в связи с сокращением объема водозабора

Ущерб от снижения урожайности с\х культур ($U_{ур.сх.}$):

$$U_{ур.сх.} = \sum_{i=1}^n \{(V_{сх} - \Delta V_{сх})(C_2 - C_1 + K_{доп}) + \Delta V_{сх}(C_3 + K_3)\}, \text{ где}$$

n – число с\х угодий;

$V_{сх}$ и $\Delta V_{сх}$ – соответственно годовой объем с\х культур до воздействия и его уменьшение в результате воздействия;

C_1 и C_2 – соответственно себестоимость единицы продукции до и после воздействия;

$K_{доп}$ – дополнительные удельные капитальные вложения для получения продукции в зоне воздействия;

C_3 – себестоимость единицы продукции для восполнения объема производства;

K_3 – удельные капитальные вложения для восполнения объема производства.