

УДК 338.4: 669

DOI: 10.17223/19988648/33/3

**Н.И. Новиков, В.А. Салихов**

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*В связи с истощением минерально-сырьевой базы металлических полезных ископаемых обоснована актуальность разработки техногенных месторождений. Дана классификация техногенных отходов, приведены главные направления их использования. Рассмотрены основные этапы экономической оценки месторождений полезных ископаемых и особенности оценки техногенных месторождений.*

*Ключевые слова: минерально-сырьевая база, цветные металлы, редкие металлы, техногенные месторождения, экономическая оценка.*

На рубеже XX–XXI вв. неотъемлемой частью нового мышления становится концепция устойчивого социально-экономического развития, отвечающего текущим потребностям и обеспечивающего сохранение качества окружающей природной среды, ее способности удовлетворять разумные и необходимые потребности нынешнего и грядущих поколений.

Рационализация природопользования предполагает необходимость исследования проблем оптимизации взаимодействия общества и природы и путей их решения; эффективности использования природных ресурсов для производственных и непроизводственных целей; активизации применения экономических методов предотвращения или ликвидации загрязнения и другого ущерба, наносимого природной среде.

Острота проблем защиты окружающей среды, истощение потенциала природных ресурсов, а также расширение масштаба развития рыночной экономики привели мировое сообщество к необходимости пересмотра прежних представлений об источниках экономического роста. Дальнейшее развитие человечества на Земле становится возможным именно в рамках экологически устойчивого равновесия.

Устойчивое развитие (от англ. sustainable development – гармоничное, правильное, равномерное, сбалансированное развитие) – это процесс изменений, в котором эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений. Таким образом, устойчивое развитие – это развитие, не противоречащее дальнейшему существованию и эволюции человечества.

Концепция устойчивого развития сформировалась в 70-е гг. XX в., когда обострились противоречия между возрастающими темпами социально-экономического развития общества и ограниченностью истощаемых природных ресурсов. Накопление экологических знаний привело к созданию меж-

дународных неправительственных научных организаций, проводящих изучение глобальных процессов на Земле. К таким организациям относятся Международная федерация институтов перспективных исследований (ИФИАС), Римский клуб, издавший знаменитый доклад «Пределы роста», Международный институт системного анализа, Всесоюзный институт системных исследований (в СССР).

Проведение в 1972 г. в Стокгольме Конференции ООН по окружающей среде и создание Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) ознаменовали включение международного сообщества уже на межгосударственном уровне в решение экологических проблем, сдерживающих социально-экономическое развитие общества [1. С. 12].

В 80-е гг. XX в. совершенствовались идеи экологического развития, развития без разрушения, необходимости устойчивого развития экологических систем. В 1980 г. была принята Всемирная стратегия охраны природы (ВСОП). Вторая редакция ВСОП была опубликована в октябре 1991 г. Она получила название «Забота о планете Земля: стратегия устойчивой жизни». В этом документе отмечалось, что развитие общества должно базироваться на сохранении живой природы, защите структуры, функций и разнообразия природных систем Земли, от которых зависят биологические виды.

В 1987 г. в докладе «Наше общее будущее» Международная комиссия по окружающей среде и развитию (МКОСР) уделила особое внимание необходимости устойчивого развития, при котором «удовлетворение потребностей настоящего времени не подрывает способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Эта формулировка понятия «устойчивое развитие» широко используется в настоящее время в качестве базовой во многих странах. Экологическая составляющая является неотъемлемой частью развития человеческого общества. В основу деятельности МКОСР и других международных организаций по охране природы (ЮНЕП, ВСОП, Всемирный фонд дикой природы и др.) положена триединая концепция устойчивого (эколога-социально-экономического) развития.

Экономическая составляющая предполагает оптимальное использование ограниченных ресурсов и экологических ресурсосберегающих и малоотходных технологий.

Социальная составляющая ориентирована на человека и направлена на сохранение стабильности социальных и культурных систем, а также на справедливое разделение благ между людьми.

Экологическая составляющая направлена на обеспечение целостности биологических и физических природных систем.

Таким образом, концепция устойчивого развития определяет, что человек является субъектом, решающим проблемы развития общества.

Одной из важнейших проблем человеческого общества является проблема рационального освоения минеральных ресурсов, в том числе и металлических полезных ископаемых, особенно ценных редких и цветных металлов, с учетом роста потребностей металлургии, машиностроительного комплекса и связанных с ними областей науки и техники.

Металлургическая промышленность, несмотря на все большее применение в мире различных искусственных материалов, продолжает активно раз-

виваться и в XXI в. В связи с развитием авиационной и космической техники, электроники и т.д. повышен спрос на многие цветные и редкие металлы, а также востребованы сплавы этих металлов с черными металлами. Поэтому так актуален прирост минерально-сырьевой базы (МСБ) металлических полезных ископаемых.

При этом в настоящее время и в мире и в Российской Федерации наблюдается истощение основных запасов месторождений многих цветных и редких металлов (свинец, цинк, титан, цирконий, скандий и др.). В связи с этим ощущается дефицит минерального сырья для цветной металлургии и для ряда других отраслей промышленности (атомная, электронная, авиационная, космическая и т.д.). Многие известные месторождения в большинстве своем уже выработаны. Кроме того, снижается качество добываемых руд, ухудшаются горно-геологические и экономико-географические условия эксплуатации месторождений [2. С. 3].

Открытие и ввод в эксплуатацию новых месторождений требуют вложения значительных средств на проведение геолого-разведочных работ (ГРП). Вновь открываемые месторождения, как правило, расположены в отдаленных районах с неблагоприятными экономико-географическими и природно-климатическими условиями. Все эти обстоятельства значительно повышают затраты по добыче, переработке и транспортировке минерального сырья, а также влияют на цену металлов и металлопродукции.

Проблема обеспечения промышленности цветными и редкими металлами в РФ усугубляется из-за сложной социально-экономической ситуации. По потреблению металлов, особенно редких, Россия значительно отстает от развитых стран. При этом по мере стабилизации и роста экономики страны ожидается, что в период до 2020 г. рост потребности металлургических предприятий России в сырье будет обусловлен прежде всего увеличением спроса на металлопродукцию на внутреннем рынке (вследствие ожидаемого оживления производства в отраслях-металлопотребителях), при сравнительно стабильных объемах экспорта.

Рост внутреннего потребления металлопродукции и ее экспорта возможен при поставках продукции так называемого четвертого передела (например, обработка цветных металлов, твердосплавная металлургия и т.д.). Намечающийся рост производства в РФ подтверждает остроту и актуальность проблемы снабжения промышленности дефицитными металлами и предполагает увеличение мероприятий по комплексному использованию руд, а также по эксплуатации техногенных месторождений. При этом затраты на ГРП по рудным месторождениям могут составлять десятки и сотни миллионов рублей, а по техногенным будут на порядок меньше.

Следует учитывать также огромные объемы накапливаемых техногенных отходов. Например, в РФ накоплено более 2 млрд т золы и шлаков топливных энергетических станций (ТЭС) и металлургических предприятий, т.е. обоснование эффективных путей их переработки – это важнейшая задача.

При возрастающей потребности общества в сырье для металлургии и других перерабатывающих отраслей возрастает потребность в количестве, а главное – в качестве минерального сырья. В то же время наиболее богатые месторождения во многом исчерпаны, снижается качество руд, ухудшаются

условия их эксплуатации. Так, Талнахское медно-никелевое месторождение, расположенное на севере Красноярского края, обрабатывается уже на глубине более 600 м. Часто шахты достигают глубины 1 км и более. Поэтому и в мире и в России все более актуальной становится проблема ввода в эксплуатацию техногенных месторождений.

Благоприятными факторами для разработки техногенных месторождений металлов являются: экономический (спрос на минеральное сырье, условия разработки месторождений), исторический (формирование инфраструктуры горно-добывающих и горно-металлургических районов) и социальный (в основном это создание рабочих мест по проекту с мультипликативным эффектом) [2. С. 9].

Важным аспектом для развития минерально-сырьевой базы металлических полезных ископаемых являются факторы размещения металлургического производства: сырьевой (расположенность производства вблизи источников минерального сырья), топливно-энергетический (близость производства к дешевым источникам электроэнергии) и т.д. Эти факторы будут благоприятны и при разработке техногенных месторождений. В настоящее время большое значение приобретают потребительский фактор (емкость рынков сбыта), а также транспортный (снижение затрат на поставку металлов потребителю). Важной тенденцией для размещения металлургических предприятий является тяготение к центрам потребления металлов, имеющим соответствующую инфраструктуру, подготовленную квалифицированную рабочую силу и т.д.

Техногенные месторождения образуют отвалы добычи полезных ископаемых, хвостохранилища обогатительных фабрик, золо- и шлаковые отвалы ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС, складированные отходы металлургического и другого производства (рис. 1) [3. С. 15–16; 4. С. 39].

Отечественные горные предприятия ежегодно складировуют на поверхности около 5 млрд т вскрышных и отвальных пород, и примерно 700 млн т поставляют в отвалы обогатительные фабрики. В настоящее время в Российской Федерации накоплено около 80 млрд т отходов, в том числе более 2 млрд т золы ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС, шлаков черной и цветной металлургии. Эти объекты являются уникальным источником многих ценных редких металлов. Основным источником получения германия – зола ТЭЦ; рения – пыль обжига молибденовых концентратов; селена и теллура – отходы переработки сульфидных медных руд; кадмия, таллия, индия – полиметаллические руды: галлия – отходы переработки бокситов и нефелинов. Кроме того, из техногенных месторождений получают (методом выщелачивания) цветные металлы. Например, из отвалов извлекается до 30% меди. Таким образом, эксплуатация техногенных месторождений позволяет поддерживать требуемый уровень производства металлов даже при значительном снижении объемов добычи металлических руд.

Необходимость разработки техногенных месторождений объясняется и экологическими аспектами. В отходах минерального сырья накапливается значительное количество токсичных и потенциально опасных элементов, таких как ртуть, мышьяк, бериллий, кадмий, таллий и др.



Рис. 1. Схема формирования и использования горно-промышленных отходов

В настоящее время разработаны технологии извлечения из минерального сырья и отходов многих ценных металлов, прошедшие лабораторные и полупромышленные испытания. Ряд металлов извлекается промышленным способом (германий, ванадий, титан, цирконий). Например, извлекаются из хибинских апатитовых месторождений нефелин, сфен для получения титановых продуктов, бадделеит для получения циркония.

В целом комплексная оценка попутных полезных компонентов, содержащихся в основных полезных ископаемых, проводится недостаточно, а накапливаемые отходы добычи минерального сырья также используются в малых объемах. Одной из причин являются высокие затраты на извлечение металлов, сопоставимые с затратами на добычу традиционных полезных ископаемых и даже превышающие их. В то же время снижение количества рентабельных запасов рудных полезных ископаемых предполагает необходимость извлечения металлов из комплексных руд и из техногенных месторождений.

Для проведения промышленной разработки техногенных месторождений необходимо оценить экономическую целесообразность извлечения металлов из отходов горно-металлургической и топливно-энергетической промышлен-

ности. В первую очередь следует оценить эколого-экономический эффект от разработки техногенных месторождений ( $R$ ) [4. С. 26]:

$$R = \mathcal{E}_M + \mathcal{E}_H + \mathcal{E}_Y \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_M$  и  $\mathcal{E}_H$  – соответственно экономические эффекты от использования металлов и нерудных сопутствующих продуктов, руб./т;  $\mathcal{E}_Y$  – эффект от сокращения экологического ущерба, руб./т.

Такой эффект может быть получен за счет ликвидации техногенных отходов, образующихся от добычи и переработки минерального сырья, а также за счет отказа от подготовленных к разработке рудных месторождений на территориях, не затронутых горно-добычными работами. С учетом больших затрат на содержание хвостохранилищ, а также на рекультивацию земель и с учетом высоких цен на участки земель, особенно на природоохранных территориях, ресурсных налогов, штрафов за сверхнормативные выбросы и сбросы вредных веществ такой эффект будет весьма существен.

При разработке техногенных месторождений образуется и социальный эффект, связанный со снижением заболеваемости и, следовательно, с потерями рабочего времени, снижением выпуска продукции, оплатой больничных и т.д. Кроме того, реализация проектов по разработке техногенных месторождений приводит к созданию новых рабочих мест с мультипликативным эффектом по всей технологической цепочке проекта, от первоначальной оценки объекта до получения готовой продукции.

Таким образом, при разработке техногенных месторождений цветных и редких металлов возможно получение значительного экономического и социально-экологического эффектов. При этом в первую очередь важна экономическая оценка техногенных месторождений. Первой частью экономической оценки является их геолого-экономическая оценка.

Основные критерии геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых следующие [2. С. 128]:

1. Промышленные запасы металлов с достаточной степенью геологической изученности (для попутных полезных компонентов это запасы по категориям  $C_1$  и  $C_2$  – изученные в общих чертах и изученные по отдельным выработкам).

2. Рентабельные технологии, позволяющие комплексно и рационально извлекать максимум металлов с учетом минимального содержания условного металла ( $C_{\text{MIN } Y}$ ) и экологических требований (полная ликвидация отвалов, содержание вредных и токсичных металлов в переработанной золе и продуктах ее переработки не выше предельно допустимых концентраций).

3. Экономический критерий – цены, спрос-предложение, условия продаж и т.д. – цены и объемы продаж неустойчивы, рост цен может иметь спекулятивный характер, вход на рынки металлов затруднен, что требует оценки рисков и поддержки правительства.

Таким образом, геолого-экономическая оценка техногенных месторождений начинается с оценки содержаний дефицитных металлов, что позволяет оценить запасы/ресурсы металлов и эффективность разработки этих объектов

с учетом наличия промышленных, высокорентабельных технологий, динамики цен и спроса на цветные и редкие металлы.

После определения категории запасов/ресурсов (геологический параметр) согласно рамочной классификации ООН «запасы/ресурсы» определяются технологический параметр (наличие промышленных рентабельных технологий получения металлов) и экономический параметр (положительная динамика спроса и цен на металлы). Наличие трех положительных параметров означает экономическую категорию запасов, двух положительных параметров – потенциально-экономическую категорию, что требует или доизучения объекта, или доработки технологии, или ожидания благоприятной ситуации на рынке металлов. В случае отрицательного значения двух или трех параметров запасы металла согласно этой классификации считаются условно-экономическими. В этой ситуации требуется создание инновационной промышленной технологии его получения и других инновационных технологий, где данный металл будет востребован. Если геологическое доизучение объекта не обнаруживает кондиционных содержаний металла, он может извлекаться в комплексе с другими, высокорентабельными металлами.

Оценка кондиционных содержаний металлов в рудах проводится следующим образом. Весовое содержание ценного (полезного) минерала или полезных минералов в комплексных рудах в образце определяется [5. С. 18] по выражению

$$C_i^b = \left( \frac{C_1^o \cdot d_1}{C_1^o \cdot d_1 + C_2^o \cdot d_2 + \dots + C_i^o \cdot d_i} \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $C_i^b$  – содержание данного минерала в образце, вес %;  $C_1^o, C_2^o, \dots, C_i^o$  – содержание каждого из минералов в образце, объемные %;  $d_1, d_2, \dots, d_i$  – плотность минералов, г/см<sup>3</sup>.

Для руд требуется вычислить содержание ценного компонента (металла) в образце  $C_k$ , исходя из весового содержания в образце минерала, являющегося носителем данного компонента ( $C_i^b$ ), и известного содержания компонента в чистом минерале ( $C_k^m$ ):

$$C_k = (C_k^m \times C_i^b) / 100\%. \quad (3)$$

Данные о рудных минералах и их плотности приведены в табл. 1.

Внедрение современных инновационных технологий позволяет снизить кондиционные требования, но при решении вопроса о целесообразности разработки месторождений следует ориентироваться на эти кондиции.

Таблица 1. Главные ценные и сопутствующие минералы руд [5. С. 19]

Название полезного компонента	Название минерала, руды	Формула минерала	Содержание полезного компонента, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Алюминий	Боксит	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O	47	3,0
	Нефелин	Na[AlSiO <sub>4</sub> ]	19	3,0
	Каолинит	Al <sub>4</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ][OH] <sub>3</sub>	22	2,6
Барий	Барит	BaSO <sub>4</sub>	58	4,3
Вольфрам	Вольфрамит	(Fe, Mn)WO <sub>4</sub>	60	7,0
Железо	Магнетит	Fe Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	72	5,2
	Гематит	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70	5,2
	Лимонит	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O	55	4,0
	Ильменит	FeTiO <sub>3</sub>	37	4,5
Марганец	Пиrolозит	MnO <sub>2</sub>	63	4,8
	Псиломелан	MnO·MnO <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O	40-60	4,7
Медь	Халькопирит	CuFeS <sub>2</sub>	35	4,2
	Халькозин	Cu <sub>2</sub> S	80	5,7
	Малахит	Cu <sub>2</sub> [CO <sub>3</sub> ][OH] <sub>2</sub>	57	4,0
	Азурит	Cu <sub>3</sub> [CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> [OH] <sub>2</sub>	55	3,8
Молибден	Молибденит	MoS <sub>2</sub>	60	4,8
Мышьяк	Арсенопирит	FeAsS	46	6,0
Ртуть	Киноварь	HgS	86	8,1
Сера	Сера	S	100	2,0
	Пирротин	FeS	36	4,6
	Пирит	FeS <sub>2</sub>	53	5,2
Титан	Ильменит	FeTiO <sub>3</sub>	32	4,7
Фосфор	Фосфорит		35	3,0
	Апатит	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,Cl,OH)	20	3,2
Хром	Хромит	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	47	4,0
Свинец	Галенит	PbS	87	7,5
Цинк	Сфалерит	ZnS	67	3,8
	Кварц	SiO <sub>2</sub>		2,6
	Кальцит	CaCO <sub>3</sub>		4,7
	Доломит	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		4,8
	Магнезит	MgCO <sub>3</sub>		5,0
	Асбест	Mg <sub>6</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ][OH] <sub>8</sub>		2,2
	Гранат	(Mg, Fe <sup>2+</sup> , Ca) <sub>3</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> ) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub>		4,0
	Оливин	(Mg, Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>		3,5
	Серпентин	Mg <sub>6</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ][OH] <sub>8</sub>		2,5
	Мусковит	KAl <sub>2</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ][OH] <sub>2</sub>		3,0

Требования промышленности к качеству руд приведены в табл. 2.

Требования данных кондиций позволяют провести оценку содержаний исследуемых металлов и в техногенных отходах. При комплексном извлечении из техногенных месторождений металлов на первом этапе должно определяться самое высокое содержание металла. Для пересчета содержаний остальных металлов в содержания основного рассчитывают пересчетные коэффициенты ( $K_{i/0}$ ), определяемые [2. С. 120] как

$$K_{I/O} = (\Pi_1 \times K_I) / (\Pi_0 \times K_0), \quad (4)$$

где  $K_{I/O}$  – коэффициент пересчета содержаний  $i$ -того компонента в основной, доли ед.;  $\Pi_1$  – цена готовой продукции  $i$ -того компонента, (кг, т) руб.;  $\Pi_0$  – цена готовой продукции основного компонента, (кг, т) руб.;  $K_I$  – коэффициент извлечения  $i$ -того компонента в готовый продукт, доли ед.;  $K_0$  – коэффициент извлечения основного компонента в готовый продукт, доли ед.

Таблица 2. Требования промышленности к качеству руд [5. С. 20]

Полезное ископаемое, типы руд	Полезный компонент	Содержание полезного компонента в рудах, %		
		Бедные	Рядовые	Богатые
Алюминий (боксит)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28–35	35–40	>40
Нефелины	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			17,0
Вольфрам	WO <sub>3</sub>	0,5–1	1–3	>3
Магнетит-гематитовые руды	Fe	37–40	40–50	>50
Лимонитовые руды				
Калий, сильвинит	Fe	30–35	35–40	>40
Марганец, окисн.	K <sub>2</sub> O	16–20	20–40	>40
Карбонатные руды	Mn	17–22	22–30	>30
Медь, монометал.	Mn	13–20	20–30	>30
Комплексные руды (Co–Ni; Cu–Mo)	Cu	0,7–2	2–3	>3
Молибден	Cu			0,5
Ртуть	Mo	0,05–0,1	0,1–0,3	>0,3
Свинец, цинк монометалльные	Hg	0,1–0,3	0,3–0,5	>0,5
	Pb	1–2	2–4	>4
Комплексные руды	Zn	2–3	3–4	>4
Фосфаты, апатит	Pb,Zn	2–4	4–7	>7
Фосфорит	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6–10	10–16	>16
Титан, ильменит	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3–6	6–10	10
Хром, хромит	Ti	10–15	15–20	>20
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32–35	35–40	>40

Затем рассчитывается содержание условного металла ( $C_y$ ):

$$C_y = C_0 + C_1 \times K_{1/O} + C_2 \times K_{2/O} + \dots C_I \times K_{I/O}, \quad (5)$$

где  $C_0$  – содержание основного компонента, %;  $C_1, C_2, C_I$  – содержание прочих компонентов, %;  $K_{1/O}, K_{2/O}, K_{I/O}$  – коэффициенты пересчета содержаний металлов в содержание основного.

С учетом прогнозируемой средней цены на 1 кг, т условного металла ( $\Pi_{MY}$ ), затрат на получение условного металла ( $Z_{MY}$ ), коэффициента извлечения условного металла из концентрата ( $K_{IY}$ ) и коэффициента его разубоживания при получении концентрата ( $K_{PY}$ ) определяется минимальное содержание металла ( $C_{MIN Y}$ ), обеспечивающее как минимум нулевую рентабельность:

$$C_{MIN Y} = (Z_{MY} / \Pi_{MY} \times K_{IY} \times (1 - K_{PY})) \times 100\%. \quad (6)$$

Аналогично рассчитывается  $C_{\text{MIN}}$  для каждого металла. Металлы с низким содержанием и высокой себестоимостью получения могут извлекаться в комплексе с остальными. Реализация нерентабельных металлов зависит от роста спроса и цен на них.

После оценки содержания металлов оцениваются их запасы ( $Q$ ) в техногенных месторождениях по формуле [6. С. 200]:

$$Q = (S \times m \times C \times \gamma) / 100\%, \quad (7)$$

где  $S$  – площадь участка месторождения, км<sup>2</sup>;  $m$  – мощность полезного ископаемого, м;  $C$  – содержание металла, %;  $\gamma$  – удельный вес металла, т/м<sup>3</sup>.

Далее с учетом технологического и экономического параметров определяется категория запасов. Для запасов металлов, имеющих экономическую категорию, проводится экономическая оценка.

В первую очередь следует оценить экономическую целесообразность извлечения ценных металлов и выбрать оптимальный вариант их извлечения из перспективного объекта. Для выбора перспективного объекта рассчитывается среднегодовой доход с учетом величин возможных объемов производства металлов и выручки от их продажи, капитальных вложений и производственных затрат по каждому варианту.

Среднегодовой доход ( $D_{\Gamma}$ ) от продажи металлов на начальном этапе можно оценить (согласно рекомендациям по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых и с учетом рисков проекта ( $P$ )) как:

$$D_{\Gamma} = (Ц_{\Gamma} - З_{\Gamma} - E \times K) \times (1 - P), \quad (8)$$

где  $Ц_{\Gamma}$  – среднегодовая стоимость продукции, тыс. руб.;  $З_{\Gamma}$  – среднегодовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.;  $E$  – коэффициент экономической эффективности капитальных вложений за  $T$  лет, доли ед.;  $K$  – величина капитальных вложений, тыс. руб.

В целом экономическая оценка техногенных месторождений должна включать три стадии (подхода). Вначале определяется стоимость затрат на разработку месторождения, затем – сравнительная с другими месторождениями стоимость (для определения цен на металлы), а в завершении – доходная стоимость, рассчитываемая с учетом возможности получения сопутствующих продуктов (например, строительных материалов) и с учетом получения социально-экологического и косвенного (снижение расходов на ГРП, добычу, обогащение и получение металлов) эффектов.

С помощью затратного подхода проводится сравнительная оценка месторождений, когда определяют так называемые приведенные затраты:

$$З_i = \sum C_i + E \times K_i \rightarrow \min, \quad (9)$$

где  $З_i$  – приведенные затраты по  $i$ -тому месторождению за определенный календарный период времени (год), руб./т;  $C_i$  – эксплуатационные затраты за

год на разведку, добычу, обогащение полезных ископаемых оцениваемого месторождения, руб. / т;  $E$  – норматив эффективности капитальных вложений (обычно = 0,2), доли ед.;  $K_i$  – капитальные вложения по оцениваемому месторождению, руб. / т.

Таким образом, при затратном подходе к оценке техногенного месторождения его ценность будет определяться как  $\Pi = Z_0$  (затраты на освоение). С помощью затратного метода, также называемого методом оценки замыкающих или приведенных затрат, проводится сравнительная оценка месторождений. Инвестиции предпочтительнее вкладывать в месторождение, освоение которого требует наименьших затрат.

При рентной (сравнительной) оценке месторождения ( $R_M$ ) для определения его ценности чаще всего используется следующая формула:

$$R_M = \sum (Z_t - S_t) / (1 + E)^t, \quad (10)$$

где  $Z_t$  – ценность готовой продукции в оптовых ценах  $t$ -того года, руб. / т;  $S_t$  – сумма предстоящих капитальных и эксплуатационных затрат в  $t$ -том году эксплуатации (освоения), руб. / т;  $E$  – норма дисконтирования, доли ед.

На результаты оценки рентным способом влияет величина дифференцированной или горной ренты. Горная рента определяется по преимуществам освоения конкретного месторождения по сравнению с другими (чаще всего однотипными) месторождениями. Это преимущество может образовываться из-за большего количества запасов, лучшего их качества или из-за более благоприятных горно-геологических и экономико-географических условий разработки. В то же время применение рентного (сравнительного) подхода позволяет определить приемлемые цены на производимую продукцию и на требующееся оборудование. В целом на основании рентной (сравнительной) оценки выбирается месторождение с наибольшей стоимостью.

Применение доходного подхода предполагает оценку стоимости месторождения на основе расчета величины ожидаемой прибыли с учетом фактора времени. Учет фактора времени осуществляется путем приведения или дисконтирования разновременных результатов и затрат к начальному периоду. В зарубежной практике широко используется формула Хосколда, отдельно учитывающая риск на весь вложенный капитал [4. С. 30]:

$$V_p = \sum A_t \times (r / (1 + r)^n - 1) + r', \quad (11)$$

где  $V_p$  – общая современная ценность месторождения;  $A_t$  – годовая прибыль в  $t$ -том году;  $n$  – время разработки месторождения;  $r$  – нормативная прибыль (2–4%), в доли ед.;  $r'$  – прибыль, учитывающая степень риска (10%), доли ед.

Суммарная величина денежных потоков ( $D_{ДП}$ ) за период времени ( $t$ ), приведенная к начальному моменту времени при относительном равенстве годовых денежных потоков, определяется по формуле Меркилла:

$$\sum D_{\text{дп}} = D_{\Gamma} \times [((1+r)^t - 1) / (1+r)^t \times r], \quad (12)$$

где  $D_{\Gamma}$  – среднегодовая величина денежного потока за  $t$  лет, приведенная к его величине в 0-м году;  $r$  – нормативная прибыль, доли ед.

Выражение в квадратных скобках (12) называется коэффициентом Инвуда или коэффициентом аннуитета. Кроме того, стоимость месторождения ( $NPV$ ) упрощенно рассчитывается при а) ежегодно меняющейся прибыли и б) постоянной ежегодной прибыли [6. С. 68] как

$$\text{а) } NPV = A_t / (1+r)^t - J, \quad (13)$$

$$\text{б) } NPV = [A \times (1-r)^t / r \times (1+r)^t] - J, \quad (14)$$

где  $A$  и  $A_t$  – среднегодовая прибыль и прибыль  $t$ -того года, тыс. руб.;  $J$  – объем необходимых капиталовложений, тыс. руб.

При значительной разнице величины годовых денежных потоков коэффициент аннуитета не используют. Здесь применяется метод прямого дисконтирования. При использовании этого метода степень риска учитывается вместе с нормой прибыли инвестора и величиной инфляции.

Кроме того, для унификации расчета оценки эффективности инвестиционных проектов применяются рекомендации, разработанные в соответствии с международной системой ЮНИДО, предполагающие использование определенных показателей: чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности (ИД), внутренняя норма доходности (ВНД), срок окупаемости ( $T_{\text{ок}}$ ), а также показателей, учитывающих специфику проекта и интересов участников. Приведение разновременных затрат и доходов к начальному периоду оценки осуществляется с помощью коэффициента дисконтирования  $q$ :

$$q = 1 / (1 + E)^t, \quad (15)$$

где  $E$  – норма дисконта, которая определяется суммированием процентной ставки (определяемой условиями процентных выплат), величины инфляции и величины инвестиционных рисков; при базовой оценке величина  $E$  принимается равной 10%, при коммерческой – не ниже 15% [6. С. 67];  $t$  – номер расчетного года.

Норма дисконта  $E$  может также определяться по формуле

$$E = IR + MRR \times RI, \quad (16)$$

где  $IR$  (inflation rate) – темп инфляции в год, %;  $MRR$  (minimal attractive rate of return) – минимально привлекательная норма прибыли в год, %;  $RI$  (risk of investments) – коэффициент инвестиционного риска – корректирует норму дисконтирования на степень риска процента и определяется как

$$RI = 1 + \sqrt{\delta / M}, \quad (17)$$

где  $M$  – математическое ожидание (средневзвешенное значение) рентабельности реализованных сходных проектов;  $\delta^2$  – среднеквадратическое отклонение реализованных сходных проектов.

Математическое ожидание определяется по формуле

$$M = \sum R_i \times W_i, \quad (18)$$

где  $R_i$  – рентабельность аналогичных реализованных проектов;  $W_i$  – удельный вес значения  $R_i$ .

Среднеквадратическое отклонение определяется по формуле

$$\sqrt{\delta^2} = \sqrt{\sum [(R_i - M_i)^2 \times W_i] / \sum W_i}, \quad (19)$$

Данный метод определения нормы дисконта используется для оценки проектов, широко применяемых в производственной деятельности. При этом разработка техногенных месторождений в России осуществляется в настоящее время в малых объемах, а извлечение ценных металлов из углей и их золо-шлаковых отходов практически не применяется, т.е. нет проектов-аналогов, позволяющих определить средневзвешенный уровень рисков.

Если инвестирование происходит за счет заемных средств или размещения акций, расчет нормы дисконта производится по формуле [6. С. 69]:

$$RD = \alpha \times d + (1 - \alpha) \times i, \quad (20)$$

где  $\alpha$  – доля акционерного капитала в инвестированном капитале, доли ед.;  $(1-\alpha)$  – доля заемного капитала в инвестированном капитале;  $d$  – дивидендные выплаты на акционерный капитал, годовой процент;  $i$  – процентные выплаты по ссуде, годовой процент.

Таким образом, в качестве нормы дисконта используется средневзвешенная стоимость инвестированного (акционерного и долгосрочного) капитала, определяемая на основании дивидендных и процентных выплат. Этот метод, как и предыдущий, может быть использован для уже организованных и при этом успешно работающих производств.

Кроме того, для определения коэффициента дисконтирования применяется упрощенный метод. С помощью этого метода коэффициент дисконтирования рассчитывается как усредненная процентная ставка по долгосрочным банковским кредитам. Рыночная ставка по долгосрочным ссудам включает в себя в неявном виде все составляющие для расчета нормы дисконта. При этом данный показатель не учитывает возможные риски проекта. Поэтому данный метод не может использоваться для таких проектов, как извлечение

металлов из техногенных отходов, так как эти проекты характеризуются повышенной степенью риска.

В современной экономической деятельности практикуется применение конкретных норм дисконта для отдельных типов инвестиционных проектов. Например, для проектов, разрабатываемых с целью увеличения доходов предприятия, рекомендуется величина нормы дисконта 20%, для новых проектов на стабильном рынке – 20%, для проектов, базирующихся на новых технологиях, – 24%, для рискованных капиталовложений – 25% [7. С. 19]. Чистый дисконтированный доход (net present value) определяется как

$$\text{ЧДД}(NPV) = \sum_t^T \left[ (B_t - Z_t) \times \frac{1}{(1 + E)^t} \right] - \sum_t^T \times \frac{K_t}{(1 + E)^t}, \quad (21)$$

где  $B_t$  и  $K_t$  – выручка и капитальные затраты в  $t$ -том году, тыс. руб.;  $Z_t$  – производственные затраты, тыс. руб.;  $T$  – период эксплуатации месторождения, лет.

Если ЧДД имеет положительное значение, то освоение месторождения эффективно. Индекс доходности (profitable index), или ИД, показывает, во сколько раз приведенные доходы превышают приведенные капитальные вложения, т.е. предыдущая формула преобразуется в деление. ИД должен быть по крайней мере  $> 1$ . Затем определяется срок окупаемости капитальных вложений ( $T_{OK}$ ) – временной интервал, в течение которого ЧДД становится равным дисконтированным капитальным вложениям. Внутренняя норма доходности (internal rate of return), или ВНД, – процентная ставка дисконтирования, при которой современная стоимость будущих прибылей от капитальных вложений равна величине этих вложений. Освоение месторождения считается эффективным, если  $\text{ВНД} > E$ , где  $E$  – принятая в расчете норма дисконтирования прибыли.

Таким образом, следует учитывать, что оценка техногенных месторождений имеет свои специфические черты. Для каждого нового проекта следует определять индивидуальную норму риска. Поскольку большинство проектов не будет иметь проектов-аналогов, для них будут характерны риски, связанные с оценкой малоизученных техногенных объектов и с использованием новых технологических решений для разработки этих месторождений. При этом необходимость решения экологических и социальных проблем позволит получить определенную поддержку со стороны региональных и федеральных органов власти (льготное налогообложение, льготные энергетические тарифы и т.д.).

В целом вовлечение в эксплуатацию техногенных месторождений может дать существенный эффект на региональном уровне за счет:

1) сокращения дефицита ценных, в первую очередь редких и цветных металлов для потребностей металлургической промышленности и машиностроительного комплекса региона и (или) РФ;

2) снижения расходов геолого-разведочных предприятий и предприятий горно-металлургического комплекса на проведение ГРП, добычу и обогащение руд, производство металлов;

3) получения экологического эффекта с помощью сокращения площадей земель, занятых хвостохранилищами, и предотвращенного ущерба на сохраненных от добычи рудных полезных ископаемых землях;

4) получения социального эффекта путем создания рабочих мест по проекту с учетом смежных производств (мультипликативный эффект), а также улучшив условия жизни (снижение экологической нагрузки).

#### *Литература*

1. Салихов В.А. Экономика природопользования: учеб. пособие / НФИ КемГУ. 2-е изд., доп. Новокузнецк, 2014. 167 с.

2. Салихов В.А. Экономическая оценка и комплексное использование попутных полезных компонентов углей и золо-шлаковых отходов углей (на примере Кемеровской области): монография / НФИ КемГУ. Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 2013. 224 с.

3. Быховский Л.З., Спорыхина Л.В. Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 4. С. 15–20.

4. Чайников В.В., Гольдман Е.Л. Оценка инвестиций в освоение техногенных месторождений: монография. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. 220 с.

5. Салихов В.А. Управление качеством: метод. указания / НФИ КемГУ. Новокузнецк, 2014. 40 с.

6. Экономика и управление геологоразведочным производством: учеб.-метод. пособие / под ред. В.П. Орлова. М.: Геоинформмарк, 1999. 248 с.

7. Миронов М.Г. Управление качеством: учеб. пособие. М.: ТК Велби: Проспект, 2007. 288 с.

**N.I. Novikov, V.A. Salikhov.** Department of Economics, Novokuznetsk Branch Institute of Kemerovo State University, Novokuznetsk, Russia. E-mail: [economica@nkfi.ru](mailto:economica@nkfi.ru), E-mail: [Salihov-VA@yandex.ru](mailto:Salihov-VA@yandex.ru)  
**SOME ASPECTS OF THE ECONOMIC EVALUATION OF TECHNOGENIC DEPOSITS AS A PROMISING RAW MATERIAL IN THE STEEL INDUSTRY**

**Keywords:** mineral resources base, non-ferrous metals, rare metals, technogenic deposits, economic evaluation.

The main stages of the economic evaluation of mineral deposits and features of technogenic deposits assessment are considered. At the turn of XX-XXI centuries an integral part of the new thinking becomes the concept of sustainable social and economic development that meets current needs and preserve the quality of the environment and its ability to meet the reasonable and necessary needs of present and future generations. Rationalization nature management implies the need to study the problems of optimized interaction between society and nature and their solutions; efficient use of natural resources for production and non-production purposes; intensify the use of economic techniques for the prevention or elimination of pollution and other damage to the environment. Sustainable development (Engl: sustainable development - balanced, correct, uniform and balanced development) - it is a process of change in which the exploitation of natural resources, direction of investments, the orientation of technological development, personal development and institutional change consistent with each other and strengthen the current and future potential to meet human needs and aspirations. Thus, sustainable development - a development that does not contradict the continued existence and development of mankind. One of the major problems of human society is the problem of sustainable development of mineral resources, including metallic minerals, especially rare and valuable non-ferrous metals, with the growth needs of the metallurgy, machine-building industry and related areas of science and technology. Iron and steel industry, despite the increasing worldwide use of various technogenic materials, is developing in the twenty-first century. In connection with the development of aviation and space technology, electronics, etc., increased demand for many ferrous and rare metals and alloys of

these metals with ferrous metals. Therefore, increase in the mineral resource base (MRB) of metallic minerals, especially rare and valuable non-ferrous metals, with the growth needs of the metallurgy, machine-building industry and related areas of science and technology is actual. Promising areas of growth MRB of metallic minerals are the activities on the development of complex and technological fields. Currently, a comprehensive assessment of accompanying mineral components contained in essential minerals, carried enough, and accumulated waste production of mineral raw materials are also used in small quantities. One of the reasons is the high costs of extraction of metals, comparable to the cost of traditional production of minerals, and even exceeding them. At the same time, reducing the number of viable reserves of ore minerals suggests the need for extraction of metals from complex ores and from industrial fields. In the development of technogenic deposits of non-ferrous and rare metals is possible to obtain a significant ecological and economic benefits. In the first place, the most important thing is the economic evaluation of technological fields. Geological and economic evaluation of technogenic deposits begins with an assessment of contents scarce metals that allows to estimate the reserves / resources of metals and efficiency of the development of these objects based on the availability of industrial, high-margin technology, the dynamics of prices and demand for nonferrous and rare metals.

### *References*

1. Salikhov V.A. *Ekonomika prirodopolzovaniya [Environmental economics] : ucheb. posobiye / V. A. Salikhov; NFI KemGU. 2-ye izd., dop. Novokuznetsk, 2014. 167 p.*
2. Salikhov V.A. *Ekonomicheskaya otsenka i kompleksnoye ispolzovaniye poputnykh poleznykh komponentov ugley i zolo-shlakovykh otkhodov ugley (na primere Kemerovskoy oblasti) [Economic evaluation and integrated utilization of useful mineral components of coals and coal ash and slag waste (in Kemerovo region)] : monografiya/ V.A. Salikhov; NFI KemGU. Novosibirsk, Izdatelstvo «Nauka» SO RAN, 2013. – 224 p.*
3. Bykhovskiy L.Z. *Tekhnogennyye otkhody kak rezerv popolneniya mineralno-syryevoy bazy: sostoyaniye i problemy osvoyeniya [Technogenic waste as a replenishment resource of the mineral resource base: state and development problems] / L. Z. Bykhovskiy, L. V. Sporykhina // Mineralnyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye. 2011. № 4. p. 15–20.*
4. Chaynikov V.V. *Otsenka investitsiy v osvoyeniye tekhnogennykh mestorozhdeniy [Valuation of investments in the development of technogenic deposits]: monografiya / V.V. Chaynikov, E.L. Goldman. M.: OOO «Nedra-Biznesstsentr», 2000. 220 p.*
5. Salikhov V.A. *Upravleniye kachestvom [Quality control] : metod. ukazaniya / V.A. Salikhov ; NFI KemGU. Novokuznetsk, 2014. 40 p.*
6. *Ekonomika i upravleniye geologorazvedochnym proizvodstvom [Economics and Management of Geological Exploration Production]: uchebno-metodicheskoye posobiye / pod red. V.P. Orlov. M: Geoinformmark, 1999. 248 p.*
7. Mironov M.G. *Upravleniye kachestvom [Quality control]: uchebnoye posobiye / M.G. Mironov. M.: TK Velbi, Izd-vo Prospect, 2007. 288 p.*