

УДК 504:064.45:338.2

к.т.н. Подлипенская Л. Е.,  
к.т.н. Проценко М. Ю.,  
Кусайко Н. П.

(ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», г. Алчевск, ЛНР, lida.podlipensky@gmail.com)

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ТЕХНОГЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Проанализированы факторы, определяющие перевод техногенного образования в техногенное месторождение. Представлен подход к оценке целесообразности переработки горнопромышленных отходов производств черной металлургии с учетом экологической, экономической, социальной и институциональной составляющих.*

**Ключевые слова:** экология, техногенное образование, техногенное месторождение, горнопромышленные отходы, черная металлургия, целесообразность переработки отходов, экономическая оценка, экологическая оценка.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Металлургическая и горная отрасли — основа экономики Донбасса. Большая часть горнопромышленных отходов, представляющих угрозу окружающей среде, хранится в виде неких геологических образований, которые по своему количеству, технологическим свойствам и экономическим показателям могут быть использованы для удовлетворения практических нужд человека. Для обозначения таких образований в начале 70-х годов 20-го столетия академиком Н. В. Мельниковым были введены понятия «техногенные образования» и «техногенные месторождения», которые в данной статье интерпретируются следующим образом: «техногенное образование (ТО) — скопление на поверхности или в горных выработках Земли, в ее недрах, гидросфере или атмосфере продуктов, созданных человеком, а также минеральных веществ, искусственно отделенных от природного массива или подвергшихся изменению непосредственно в массиве в результате деятельности человека, являющихся отходами» [1]; «техногенные месторождения (ТМ) — это техногенные образования на поверхности Земли, по

количеству и качеству содержащегося в них минерального сырья пригодные для промышленного использования в настоящее время или в будущем по мере развития науки и техники и изменения экономических условий» [1].

К техногенным образованиям относятся отвалы горнодобывающих предприятий, хвостохранилища обогатительных фабрик, шлакозольные отвалы топливно-энергетического комплекса, шлаки и шламы металлургического производства, шламо-, шлакоотвалы химической отрасли и др.

Чтобы техногенное образование классифицировать как техногенное месторождение, необходимо обосновать целесообразность промышленного использования находящихся в нем полезных компонентов, для чего осуществляют анализ образования техногенного сырья по ряду признаков. На рисунке 1 представлены факторы Ф1–Ф5, которые, по мнению ряда авторов [2, 3], необходимо учитывать при рассмотрении техногенных образований как техногенных месторождений и вовлечении их в хозяйственный оборот. При этом наиболее важными являются технологические, экономические и экологические факторы.

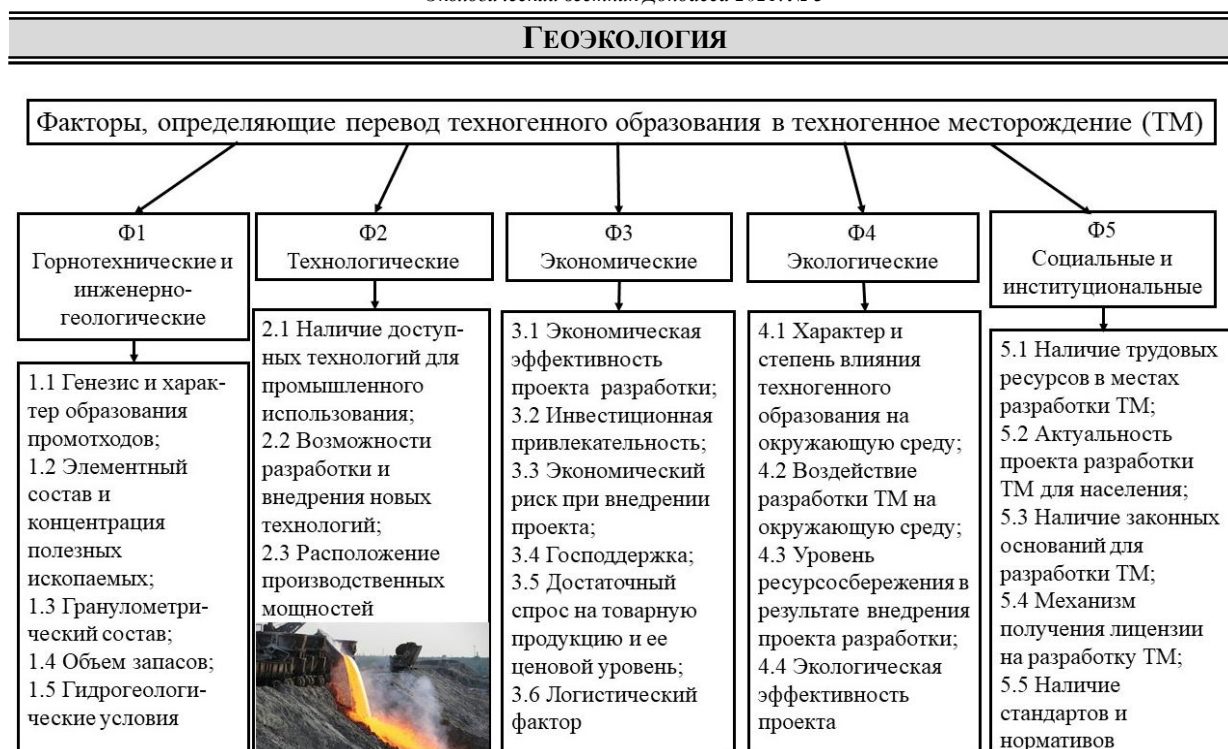


Рисунок 1 Характеристика факторов, определяющих перевод техногенного образования в техногенное месторождение

Техногенное месторождение, с одной стороны наносит ущерб окружающей среде путем загрязнения ее компонентов, а также через изъятие земель из использования в народном хозяйстве, а с другой стороны, при правильной организации переработки минерального сырья, содержащегося в нем в достаточной концентрации, может принести большую экономическую выгоду, снизить остроту экологических проблем и улучшить социальные условия в регионе. Особую озабоченность вызывают отходы обогатительного и металлургического переделов, поскольку их хранение требует специальных инженерных сооружений, а сами отходы содержат элементы и соединения, вредные для природы и здоровья человека. Количество их значительно меньше, чем вскрышных и вмещающих пород, но воздействуют они на экологическую ситуацию более пагубно.

Весьма актуальна проблема обращения с отходами горного производства и металлургических переделов в Луганской Народной Республике, где проблемы, связанные с горнопромышленными отходами,

имеют большую остроту по воздействию на окружающую среду, степени концентрации объектов размещения отходов (ОРО) в густонаселенных районах и необходимости изыскания местных вторичных ресурсов для обеспечения экологической и экономической безопасности территории. Вследствие этого задача обоснования выбора эффективных технологических решений в области переработки техногенных ресурсов в Луганской Народной Республике является актуальной.

**Объект исследования** — горнопромышленные отходы, которые могут рассматриваться как техногенные месторождения.

Под горнопромышленными отходами в данной работе понимаются отходы горного, обогатительного, металлургического, энергетического и других производств, которые рассматриваются (или могут рассматриваться) как ценное сырье для дополнительного получения полезных компонентов, строительных материалов, химической продукции, минеральных удобрений и другое. Такие отходы относятся к специфической группе геологических объ-

ектов, которые образовались в результате процессов техногенеза.

**Предмет исследования** — методика оценки целесообразности переработки горнопромышленных отходов, в частности металлургического производства чугуна и стали, в условиях Луганской Народной Республики.

**Цель работы** — разработать подход к оценке целесообразности переработки горнопромышленных отходов производств черной металлургии с учетом экологической, экономической, социальной и институциональной составляющих.

**Материалы и методы исследования.** В работе предложена методика оценки эколого-экономической целесообразности переработки горнопромышленных отходов. Используются методы системного анализа, в частности метод экспертных оценок. Некоторые этапы предложенного в работе подхода продемонстрированы на примере анализа проекта по переработке техногенных отходов ферросплавного производства. Результаты оценок обработаны с помощью программы Microsoft Excel.

**1. Промышленные отходы как техногенные месторождения в Луганской Народной Республике.** По состоянию на 2017 г. на территории ЛНР накоплено более 1,5 млрд тонн промышленных отходов, при этом переработка их для дальнейшего вовлечения в хозяйственный оборот страны производится в небольшом объеме. В структуре промышленных отходов, которые могут рассматриваться как техногенные месторождения, в настоящее время преобладают отходы горнорудной отрасли и черной металлургии. Согласно информации Министерства природных ресурсов и экологической безопасности ЛНР о расположении объектов хранения и захоронения отходов (объектов размещения отходов), внесенных в базу данных об объектах размещения отходов (БДОРО) по состоянию на 14.10.2021, а также их влиянии на состояние окружающей среды, среди 133

зарегистрированных ОРО имеется 85 объектов в виде породных отвалов угольных шахт и отходов черной металлургии, шламонакопителей, шламоотстойников и хвостохранилищ горно-перерабатывающих предприятий.

Для того, чтобы классифицировать описанные выше ОРО как техногенные месторождения, необходимо определить пригодность разработки образования для промышленного использования. Для этого проводят геологоразведочные работы на ОРО, выполняют лабораторные исследования образцов минерального сырья по химическому и гранулометрическому составу, анализируют возможные способы и методы переработки техногенного сырья, оценивают экономическую эффективность переработки отходов. То есть для установления принадлежности того или иного ОРО к классу техногенных месторождений ЛНР требуется провести соответствующую научно-исследовательскую работу.

**2. Отходы металлургического производства.** Крупнейшим производителем промышленных отходов в Луганской Народной Республике является Алчевский металлургический комбинат (АМК). Его отходы складываются в шлаковые отвалы, сбрасываются в шламоотстойники и направляются в шламонакопители. Переработка отходов в настоящее время осуществляется в небольшом объеме в виде сырья для шлакощелочной строительной индустрии и в качестве материала при отсыпке дорог. В то же время химический состав накопленных за долгое время твердых отходов АМК (шлам, окалина, шлаки доменного, мартеновского и конвертерного производств) представлен в значимых концентрациях такими веществами, как железо, марганец, кремний, хром, никель, редкоземельные металлы и т. д. (в основном в оксидной фазе). Это позволяет рассматривать металлургические шлаки как источник ценных химических элементов, необходимых в собственных производствах ЛНР, а также представляющих собой некий товарный продукт,

имеющий экспортное значение. В работе [4] показано, что производство железобитумов возможно и целесообразно из шихты, состоящей из техногенных отходов.

В то же время специфика состава отходов металлургического производства, находящихся в техногенных образованиях непосредственно в зоне контакта с природными компонентами окружающей среды и характеризующихся большими значениями кларков концентрации, вынуждает рассматривать техногенные образования как опасные источники загрязнения прилегающих территорий. Следовательно, переработка техногенных отходов горно-промышленного комплекса является актуальной не только с позиций ресурсосбережения, а и улучшения экологии региона.

**3. Эколого-экономический подход оценки целесообразности переработки техногенного месторождения.** Общая идея предлагаемого подхода заключается в том, что для каждого отдельного проекта переработки ТМ выполняется анализ экологической, экономической, институциональной и социальной эффективности по его сильным и слабым сторонам, причем как с помощью количественных оценок на основании выполненных исследований и расчетов, так качественных оценок, в том числе представленных с помощью теории нечетких множеств. Затем полученные оценки подставляются в матрицу оценок проекта переработки отходов, на основании которой делают вывод о целесообразности реализации проекта.

Основные этапы выполнения оценки целесообразности разработки техногенного месторождения:

Этап 1. Постановка задачи. Общая характеристика объекта исследования. Определение целей и задач исследования.

Этап 2. Физико-географическая характеристика территории исследования. Этот этап важен для оценки экологической составляющей эффективности проекта и заключается в сборе всех необходимых характеристик окружающей среды в пределах

воздействия производства по разработке ТМ, включая и нулевой вариант. На данном этапе целесообразно создание базы данных и разработка ГИС-сопровождения проекта.

Этап 3. Социально-экономическая характеристика территории исследования.

Этап 4. Определение геоморфологических параметров тела ТМ. Проведение исследований по изучению физико-механических свойств техногенного сырья, его химического и гранулометрического состава.

Этап 5. Выбор способов разработки техногенного месторождения. Отбор проектов переработки отходов для эколого-экономического анализа. Выбор критериев оценки экономической и экологической составляющих эффективности проекта. Составление и анализ матрицы эколого-экономических, социальных и институциональных эффектов в начальном приближении для каждого проекта.

Этап 6. Оценка воздействия отобранного проекта переработки отходов на окружающую среду. Определение показателей экологической эффективности проекта.

Этап 7. Определение показателей экономической эффективности проекта.

Этап 8. Характеристика социальных эффектов от внедрения проекта.

Этап 9. Сводный эколого-экономический анализ проекта. Построение конечной матрицы эколого-экономического анализа проекта.

Этап 10. Этап принятия решения. Сравнение разных проектов с помощью матриц эколого-экономического анализа. Выбор окончательного проекта отработки ТМ.

**4. Экономическая эффективность проекта переработки отходов.** Вопросы оценки экономической эффективности переработки техногенного сырья рассматривались в работах В. М. Бусырова, О. Е. Чуркина [5], О. А. Романовой, Д. В. Сиротина [6] и др. В данной работе предлагается использовать комплекс различных методов экономической эффективности проекта по формулам работ [5–7] в той комбинации, для расчета показателей которых имеются

достоверные данные. По каждому из представленных ниже методов сформулированы критерии, при которых инвестиционный проект по переработке техногенного сырья может быть принят к внедрению.

*Метод чистой приведенной стоимости (NPV):*

$$NPV = -IC + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

где  $NPV$  — чистая приведенная стоимость (Net Present Value);

$IC$  — сумма начальных вложений (инвестиций);

$n$  — количество периодов, на которое рассчитан проект;

$CF_t$  — ожидаемый денежный поток в  $t$ -ый период;

$r$  — ставка дисконтирования.

Критерий, при котором проект считается выгодным:  $NPV > 0$ .

Если  $NPV = 0$ , проект требует дополнительного анализа, при отрицательных значениях  $NPV$  проект из рассмотрения исключают. Метод  $NPV$  получил наибольшее практическое применение и стал одним из главных индикаторов, по которому принимают или отвергают проект.

*Метод внутренней нормы рентабельности (IRR):*

$$IRR = r^*, \quad (2)$$

где  $IRR$  (Internal Rate of Return) — внутренняя норма доходности;

$r^*$  — ставка процента, при которой  $NPV$  равно нулю. Данный показатель находят путем решения нелинейного уравнения  $NPV(r^*) = 0$ . Это означает, что при такой ставке процента инвестор сможет возместить свои первоначальные инвестиции. В программе Excel данный показатель может быть вычислен с помощью встроенной функции «ВСД».

Критерий оценки инвестиционного проекта:  $IRR > r_k$ . Это означает, что проект можно принять к внедрению, если величина  $IRR$  проекта больше ставки кредита  $r_k$ .

*Доходный метод (по [7]):*

$$D = (C - C)Q_p, \quad (3)$$

$$Q_p = C_{cp} \cdot Q_{mc} / 100, \quad (4)$$

$$Q_{mc} = V \cdot \gamma, \quad (5)$$

где  $D$  — доход от эксплуатации ресурса (полезного компонента техногенного месторождения), руб.;

$C$  — цена реализации единицы ресурса, руб./т;

$C_{cp}$  — издержки добычи единицы ресурса, руб./т;

$Q_p$  — запас ресурса в техногенном месторождении, т;

$Q_{mc}$  — запас техногенного сырья, сосредоточенного в ТМ, т;

$V$  — объем техногенного сырья, м<sup>3</sup>;

$\gamma$  — удельный вес техногенного сырья, т/м<sup>3</sup>;

$C_{cp}$  — среднее значение содержания ресурса в техногенном сырье, %.

Если при переработке отходов извлекаются и реализуются в товарных продуктах несколько полезных компонент, то определяют общий доход от эксплуатации техногенного месторождения как сумму доходов по каждому из учитываемых в разработке компоненту.

Данный метод используют при сравнении нескольких проектов, он позволяет оценить суммарный эффект от применения выбранного способа разработки техногенного месторождения.

Поскольку все показатели, рассчитываемые по формулам (1–3), имеют разные размерности и трактовки, то для принятия решения целесообразно их унифицировать и привести к единой шкале значений. Нами используется система нелинейной унификации со шкалой [0, 1]. Приемы подобной унификации разных показателей разработаны ранее в работах [8–9].

**5. Экологическая эффективность проекта переработки отходов.** Под экологической эффективностью понимается соотношение экологических результатов

от внедрения природоохранных мероприятий и затрат на внедрение этих мероприятий. Экологический результат — это снижение количества вредных веществ, поступающих в окружающую среду, их концентрации, увеличение количества и качества земельных и лесных ресурсов и т. п. Существует множество методов оценки изменения качества окружающей среды в результате определенных природоохранных мероприятий, рассмотренных в работах [1, 8, 9] и др.

Для оценки экологической эффективности от внедрения проекта переработки техногенных отходов отобраны следующие показатели (или группы показателей):

*а. Показатели, являющиеся экономическими инструментами управления природопользованием и охраной окружающей среды:*

– плата за выбросы загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу; сбросы ЗВ в природные водные объекты; загрязнение литосферы. Экологический эффект от разработки техногенных месторождений будет проявляться в уменьшении уровня загрязнения природных сред, и, следовательно, уменьшении суммы экологических платежей;

– ущерб от ухудшения и разрушения почв и земель под воздействием антропогенных факторов выражается прежде всего в деградации почв и земель, загрязнении земель химическими веществами, выведение земель из хозяйственного оборота. Оценка величины ущерба определяется по формуле [1]:

$$V_{зем} = Hc \cdot S \cdot Kэ \cdot Kос, \quad (6)$$

где  $Hc$  — норматив стоимости земель, тыс. руб./га;

$S$  — площадь почв и земель, деградировавших в отчетном периоде времени, га;

$Kэ$  — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории;

$Kос$  — коэффициент для особо охраняемых территорий.

Экологический эффект от разработки техногенных месторождений будет проявляться в возвращении всей земли или ее части в приемлемом состоянии в хозяйственное использование;

*б. Показатели, характеризующие опасность загрязнения компонент окружающей среды:*

– индексы загрязнения атмосферы (ИЗА), гидросферы (ИЗВ), почвы (Zc). Экологический эффект от реализации проекта переработки отходов характеризуется уменьшением данных индексов, что свидетельствует о снижении антропогенного воздействия ТМ на окружающую среду;

– экологический риск, который для экологически эффективных проектов разработки ТМ значительно снижается;

*в. Показатель интенсивности воздействия техногенного образования на окружающую среду (по методике работы [1]).*

Занимаемая площадь техногенного образования также играет важную роль в интенсивности потоков рассеяния, так как определяет расход фильтрационного потока и величину пылевыделения.

По выявленным факторам разработана индексация техногенного минерального образования, представленная в таблице 1. Сочетание значений четырех индексов дает 81 класс, каждый из которых характеризуется своими особенностями влияния объекта на окружающую среду.

Для оценки общей интенсивности потоков воздействия ТМО определяется итоговый признак:

$$B = k_s \cdot k_{\gamma_{yd}} \cdot k_d \cdot k_{\Sigma K_k}. \quad (7)$$

Классифицируют техногенный объект по интенсивности воздействия на окружающую среду следующим образом:

– если значение  $B$  не превышает 9, то объект считается неопасным;

– если  $B$  находится в интервале от 9 до 27, то объект считается умеренно опасным;

– если  $B$  больше 27, то объект считается опасным.

Таблица 1

## Шкалы оценки показателей

Показатель, характеризующий техногенное минеральное образование (ТМО)	Ед. изм.	Коэффициент оценки интенсивности воздействия	Количество баллов в зависимости от интервала значений показателя		
			1	2	3
Площадь поверхности земли, занимаемой ТМО, $S$	га	$k_s$	0–10	10–100	>100
Удельная площадь поверхности ТМО, $\gamma_{уд}$	м <sup>2</sup> /т	$k_{\gamma_{уд}}$	0–100	100–10000	>10000
Минералогический признак ТМО, $d$		$k_d$	нерудный	рудный оксидный	рудный сульфидный
Суммарный кларк концентрации определяемых веществ, $\sum K_k$		$k_{\sum K_k}$	0–10	10–100	>100

Представленные показатели используются для оценки экологической эффективности проекта как каждый в отдельности, так и в интегральном виде, для чего они должны быть подвергнуты операции унификации [8].

**6. Матричный подход к эколого-экономической оценке отработки техногенного месторождения.** Определение экономической и экологической оценок проекта по переработке минерального сырья из техногенного месторождения и переход к унифицированным характеристикам (в данном случае в интервале значений [0, 1]) позволяют выполнить комплексную эколого-экономическую оценку проекта в пространстве нескольких критериев. Наибольшей визуальностью обладают двумерные оценки, которые используются в матричном и графическом подходах для интерпретации результатов и подготовки их для выбора оптимального решения.

Представим матричный метод на примере эколого-экономической оценки проекта по переработке отходов ферросплавного производства. Результаты исследований [10] физико-химического состава минерального сырья шлакового отвала предприятия по производству ферросплавов показали, что по содержанию железа, марганца и др. данные отходы после переплава могут быть переработаны в товарные продукты, такие как ферромарганец и ферросилиций. Образовавшийся после вторичной переработки

шлак может использоваться в дорожном строительстве и при производстве строительных материалов.

Однако сравнительно высокие показатели содержания полезных компонент в отходах ферросплавного производства не дают достаточных оснований считать данный шлаковый отвал техногенным месторождением. Требуется более глубокий анализ финансовой прибыльности проекта по отработке отвала и оценка его экологических и социальных преимуществ согласно подходу, представленному выше.

В рамках настоящей статьи на примере разработки отвала шлаков Стахановского завода ферросплавов рассмотрим особенность составления и анализа матрицы эколого-экономических эффектов в начальном приближении. Подобный подход нами применялся в работе [9] при исследовании эколого-экономической целесообразности проектов угольной отрасли. Суть подхода заключается в группировании факторов экономического, экологического, социального и институционального направлений по группам с оцениванием их сильных и слабых сторон в отношении рассматриваемого проекта, а также определением соответствующих рисков.

Как следует из проделанного анализа (рис. 1), технологические факторы являются одними из определяющих перевод техногенного образования в техногенное месторождение. В настоящей статье для

проекта разработки выбран такой способ переработки шлаков ферросплавного производства, как дуговое глубинное восстановление (ДГВ). В работах ряда авторов [10–12] обосновывается эффективность применения технологии ДГВ марганца и кремния с использованием в качестве основного сырья различных марганец- и кремнийсодержащих материалов, таких как шлак и шлам от производства ферросиликомарганца и ферросилиция, песок, кварцит и т. д. Одним из основных преимуществ метода ДГВ является ресурсосбережение вследствие использования в качестве шихты бедных руд, шлаков, шламов, отходов и вторичных материалов для замены дорогостоящего первичного рудного сырья.

Принципиальная схема технологий обработки расплавов по методу ДГВ представлена на рисунке 2. Данная технология предусматривает расположение в тигле или ковше 1 графитового контактного электрода 2 и рудно-восстановительного блока 3, который снабжен комбинированным токопроводящим электродом 4, вокруг которого набита рудно-восстановительная смесь 5, состоящая из восстановителя, связки и сырья, в состав которого входит ценный элемент. Рудно-восстановительный блок и графитовый контактный электрод подключаются к источнику питания и располагаются в тигле или ковше 1 ниже уровня шлака 6. В области пусковой полости «каверне» 7 горит электрическая дуга 8, от которой поступает необходимая энергия для протекания физико-химических процессов, реакций восстановления оксидов и растворения элементов в обрабатываемом расплаве 9.

Данный метод был успешно реализован на нескольких машиностроительных и литейных предприятиях для раскисления и легирования железоуглеродистых расплавов. Опробованная технология ДГВ марганца и кремния из отходов от ферросплавного производства показала свою достаточно высокую эффективность (степень извлечения марганца 70–80 %, кремния до 37 %), в сравнении с традиционной технологией,

предусматривающей использование дорогостоящих ферросплавов и лигатур [11]. Кроме того, более низкая себестоимость такого вида обработки позволяет получить значительный экономический эффект и положительное влияние на экологию.

В данной статье выполняется скрининговая (предварительная) оценка целесообразности разработки отвала ферросплавных шлаков по проекту, в котором предусматривается:

1. Извлечение из отвального шлака марганца и кремния методом ДГВ и возвращение их в металлургический передел;
2. Складирование шлака, полученного после переплава, на место временного хранения для дальнейшей реализации его в дорожном строительстве.

Результаты оценки представляются в виде матрицы (табл. 2), которая позволяет систематизировать имеющуюся информацию о сильных и слабых сторонах данного проекта, а также о потенциальных возможностях и угрозах в экологической сфере конкретного региона. Построение матрицы в начальном приближении основывается не столько на количественных оценках проекта, сколько на качественном анализе, как правило, экспертной информации, которая при достаточной квалификации экспертов помогает определить актуальность предложенного проекта в условиях конкретной территории и правильно спланировать и оптимизировать последующие этапы исследований.

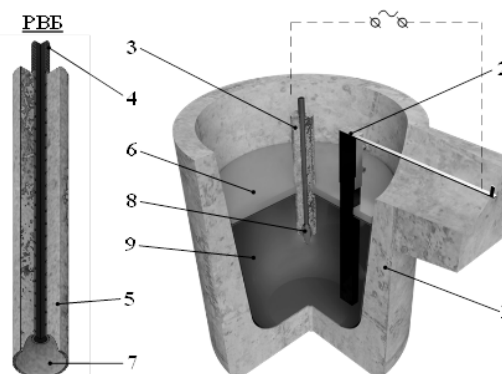


Рисунок 2 Принципиальная схема реализации процесса ДГВ [12]



**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

На данном этапе анализа эколого-экономической целесообразности реализации проекта по переработке шлаковых отвалов ферросплавного производства в условиях неопределенности и слабой структурированности исследуемых объектов и внешней среды, экспертное оценивание — эффективный инструмент получения информации и обоснования управленческих решений. Предварительное решение о разработке проекта переработки шлакового отвала и его внедрении может быть принято при разных уровнях исходных данных:

- на основании информации в качественной форме, представленной в таблице 2;
- на основании информации, представленной в таблице 2, но с экспертными

оценками в количественной форме. В этих случаях используют особый тип порядковых шкал — вербально-числовые шкалы. Их особенность состоит в том, что они позволяют измерить степень интенсивности какого-либо свойства, имеющего субъективный характер. В состав вербально-числовой шкалы входят содержательное (словесное) описание выделенных градаций и соответствующие им (градациям) числовые значения.

Наиболее известна широко применяемая на практике шкала Харрингтона, которая представлена в таблице 3 в модифицированном нами виде с учетом особенностей изучаемой в работе предметной области.

Таблица 2

Эколого-экономический анализ целесообразности реализации проекта

	Экономические аспекты	Экологические аспекты	Социальные и институциональные аспекты
<b>Сильные стороны</b>	1. Получение прибыли от реализации вторичного продукта. 2. Уменьшение экологических платежей за счет уменьшения воздействия ТМ на окружающую среду. 3. Уменьшение транспортных расходов предприятия в связи с близостью источника минерального сырья из ТМ и предприятия по его переработке. 4. Сокращение расходов на поиски новых и разведку эксплуатируемых месторождений.	1. Уменьшение накопления отходов и, как результат, — уменьшение воздействия отвала на окружающую среду. 2. Уменьшение санитарно-защитной зоны за счет уменьшения площади отвала. 3. Ресурсосбережение минерального сырья за счет переработки шлакового отвала. 4. Благоустройство местности за счет выравнивания территории и фитомелиорации нарушенных земель.	1. Создание новых рабочих мест и увеличение доходов населения. 2. Увеличение налоговых отчислений от новой деятельности по разработке ТМ. 3. Улучшение условий жизни населения за счет улучшения состояния окружающей среды после частичной ликвидации шлакового отвала.
<b>Слабые стороны</b>	1. Возможность убытков при реализации производственной деятельности по переработке отходов. 2. Дополнительные затраты по переработке, складированию отходов (шлаков) в результате реализации проекта.	Дополнительное воздействие при реализации проекта на компоненты окружающей среды: 1) атмосферу; 2) гидросферу; 3) литосферу, а также: 4) шумовое воздействие.	1. Отсутствие законодательной базы по эксплуатации шлакового отвала как ТМ. 2. Ухудшение условий жизни населения при ухудшении состояния окружающей среды в процессе отработки шлакового отвала.
<b>Риск</b>	1. Риск неполучения прибыли. 2. Риск нестабильности ситуации, способствующей уменьшению прибыли или остановке процесса переработки отходов.	1. Риск экологический при ухудшении качества компонент окружающей среды от деятельности по разработке отвала.	1. Социальный риск. 2. Канцерогенный риск. 3. Неканцерогенный риск.

**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

Таблица 3

Шкала экспертных оценок проекта переработки техногенных отходов

№	Интервал числовых значений (по Харрингтону)	Содержательное описание градаций для оценки (по трактовке авторов):		
		риска	сильных сторон проекта	слабых сторон проекта
1	[0; 0,2]	очень низкий	сильная сторона практически незаметна	слабая сторона практически незаметна
2	(0,2; 0,37]	низкий	сильная сторона проявляется на уровне ниже среднего	слабая сторона проявляется на уровне ниже среднего
3	(0,37; 0,64]	средний	сильная сторона проявляется на среднем уровне	слабая сторона проявляется на среднем уровне
4	(0,64; 0,8]	высокий	сильная сторона проявляется на уровне выше среднего	слабая сторона проявляется на уровне выше среднего
5	(0,8; 1]	очень высокий	сильная сторона проявляется на высоком уровне	слабая сторона проявляется на высоком уровне

Например, такой экологический аспект, как «уменьшение накопления отходов и как результат — уменьшение воздействия отвала на окружающую среду» (табл. 2) был оценен экспертами величиной 0,25. Это соответствует невысокому экологическому эффекту проекта, поскольку при извлечении ценных компонентов отвалы новых шлаков сохраняются. Слабая сторона «Дополнительные затраты по переработке, складированию отходов в результате реализации проекта» получила оценку 0,55, что отражает необходимость дополнительных затрат на складирование вторич-

ных отходов после переработки шлаков ферросплавного производства. Аналогичным образом экспертами была выполнено оценивание по всем позициям таблицы 2 для категорий «сильные» и «слабые стороны проекта».

После усреднения значений оценок по каждой группе методом простой средней сформирована оценочная матрица проекта (табл. 4). Интегральные оценки (для сильных сторон проекта — 0,46, для слабых сторон — 0,45), полученные усреднением по каждой строке таблицы 4, говорят о паритете сильных и слабых сторон проекта.

Таблица 4

Матрица экспертных оценок целесообразности реализации проекта

Стороны проекта	Оценка проекта / уровень оценки по аспектам:		
	экономический	экологический	социальный и институциональный
Сильные	0,67 / выше среднего	0,24 / ниже среднего	0,46 / средний
Слабые	0,40 / средний	0,50 / средний	0,45 / средний

На основании результатов скрининговой оценки экспертами проекта (табл. 4) можно сделать следующие выводы:

– рассматриваемый проект переработки шлаков ферросплавного производства по своим сильным сторонам имеет оценку уровня выше среднего для экономических аспектов, а для социальных и институциональных эффектов — на среднем уровне;

– в экологическом аспекте сильные стороны выражены на уровне ниже среднего, так как основные технологические процессы по разработке шлакового отвала связаны с извлечением из него полезных компонентов, после чего остаются вторичные отходы переработанных шлаков:

– поскольку имеет место дополнительные воздействия на атмосферу и шум при

разработке ТМ, то это усиливает слабые стороны проекта в экологических аспектах;

– нежелательные социальные последствия по оценкам экспертов находятся на среднем уровне и связаны с тем, что при переработке отходов шлак, полученный после переплава, складывается во временный отвал и, следовательно, доставляет неудобства для населения.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Таким образом, политика ресурсосбережения и повышения экологической безопасности в промышленно развитых регионах требует взвешенного подхода к оценке техногенных образований как источников ценного минерального сырья.

Рекомендуется для предварительной оценки проекта по переработке техногенного месторождения использовать:

– отдельные группы показателей по экологическим, экономическим, социальным и институциональным аспектам, значения которых могут определяться экспертными методами;

– матричный подход для анализа целесообразности переработки сырья, который предполагает формирование многомерных оценок.

На данный момент предложенная технология дугового глубинного восстановления марганца и кремния из отвального шлака производства ферросплавов является актуальной, поскольку имеет высокую степень извлечения полезных компонент при достаточно низкой себестоимости обработки.

Учитывая, что рассмотренный проект имеет наиболее сильные позиции в экономическом плане, а экологические проблемы, связанные с образованием вторичного отвала шлаков в результате переработки отходов, решены частично, необходимо внедрять комплексные методы переработки техногенного сырья, которые позволили бы полностью ликвидировать шлаковые отходы металлургического производства.

### Библиографический список

1. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду [Текст] / С. И. Мормилъ [и др.] ; под ред. Ю. А. Боровкова. — Екатеринбург : НИИ-Природа, ДПР по Уральскому региону, АООТ «ВНИИЗарубежгеология», Геологическое предприятие «Девон», 2002. — 206 с.
2. Кныш, В. А. Эффективное управление горнопромышленными отходами как условие рационального недродопользования [Текст] / В. А. Кныш, М. А. Невская // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. — 2015. — № 4 (26). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnoe-upravlenie-gornopromyshlennymi-otходami-kak-uslovie-ratsionalnogo-nedrodopolzovaniya> (14.11.2021).
3. Спиридонов, И. Г. Горно-промышленные отходы и экологическая безопасность [Текст] / И. Г. Спиридонов, Е. Н. Левченко // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 10. — С. 15–24.
4. Оценка возможности производства железобитума на основе техногенных отходов [Текст] / И. Ф. Русанов, С. В. Куберский, М. Ю. Проценко, С. Р. Завгородний // Сборник научных трудов ДонГТИ. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — № 22 (65). — С. 37–45.
5. Бусырев, В. М. Оценка стоимости запасов и эффективности освоения техногенных месторождений [Текст] / В. М. Бусырев, О. Е. Чуркин // ГИАБ. — 2016. — № 6. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-stoimosti-zapasov-i-effektivnosti-osvoeniya-tehnogennyh-mestorozhdeniy> (14.10.2021).
6. Романова, О. А. Методы определения эколого-экономической эффективности переработки техногенных образований Урала [Текст] / О. А. Романова, Д. В. Сиротин // Экономика региона. — 2021. — № 1. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-opredeleniya-ekologo-ekonomicheskoy-effektivnosti-pererabotki-tehnogennyh-obrazovaniy-urala> (14.10.2021).

7. Баранчик, В. П. Экономика природопользования [Текст] : учеб.-метод. пособ. для студ. спец. 1-57 01 01 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» / В. П. Баранчик, С. А. Касперович. — Минск : БГТУ, 2014. — 422 с.

8. Кудрик, И. Д. Система унифицированных индикаторов как инструмент оценки экологических ситуаций прибрежных зон [Текст] / И. Д. Кудрик, А. В. Ошкадер, Л. Е. Подлипенская // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России : XIII международная научно-практическая конференция. — Пенза : Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. — С. 44–47.

9. Подлипенская, Л. Е. Подход к исследованию эколого-экономической целесообразности проектов угольной отрасли [Текст] / Л. Е. Подлипенская, Н. П. Кусайко // Сергеевские чтения : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Пермь, 02–04 апреля 2019 года. — Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2019. — С. 117–122.

10. Анализ состава отходов ферросплавного производства [Текст] / М. Ю. Проценко, М. И. Воронько, В. И. Проценко, В. Ю. Ангелов // Сборник научных трудов ДонГТИ. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — № 23 (66). — С. 56–61.

11. Куберский, С. В. Использование метода дугового глубинного восстановления для извлечения кремния из песка в железоуглеродистые расплавы [Текст] / С. В. Куберский, М. Ю. Проценко, М. И. Воронько, И. А. Белан // Сб. науч. трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТУ», 2019. — Вып. № 57. — С. 37–45.

12. Проценко, М. Ю. Использование отходов конвертерного и ферросплавного производств для внепечной обработки железоуглеродистых расплавов [Текст] / М. Ю. Проценко, М. И. Воронько // Экологический вестник Донбасса. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2021. — Вып. 1. — С. 43–49.

© Подлипенская Л. Е.

© Проценко М. Ю.

© Кусайко Н. П.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ» Диментьевым А. В., зам. начальника ЦЛК Филиала № 1 «АМК» ООО «ЮГМК» Тарасовым В. Н.**

Статья поступила в редакцию 20.11.2021.

**PhD Podlipenskaya L. Ye., PhD Protsenko M. Yu., Kusayko N. P. (SEI HE LPR “DonSTI”, Alchevsk, LPR, lida.podlipensky@gmail.com)**

#### **ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF MINERAL RAW MATERIALS PROCESSING OF A MAN-CAUSED DEPOSIT**

*Factors determining the transition of a man-caused formation into a technogenic deposit have been analyzed. An approach to assessing the feasibility of mining and ferrous metallurgy waste processing is presented, taking into account the environmental, economic, social and institutional components.*

**Key words:** man-caused formation, man-caused (technogenic) deposit, mining waste, ferrous metallurgy, feasibility of waste processing, economic assessment, environmental assessment.