



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ПРОЕКТА ПО ОСВОЕНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ: РОССИЙСКО-КИТАЙСКИЙ ОПЫТ¹

Чжао Цзиэр

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Москва, Россия

В статье исследуются вопросы добычи и использования редкоземельных металлов как фактора развития зеленой экономики. Показано возможное негативное влияние при разработке месторождений редкоземельных металлов на эколого-экономическую систему на различных стадиях добычи, транспортировки, в том числе в условиях Арктики, и переработки руды. Анализируется опыт России и Китая по экономической оценке затрат и выгод при реализации проектов освоения месторождений полезных ископаемых с учетом их жизненного цикла. Предлагается методический подход к интегральной экономической оценке редкоземельных металлов, включая экономическую оценку вовлекаемых природных ресурсов и экологические издержки производства, что позволяет определять цены на такие ресурсы с учетом экологических факторов, стимулировать применение технологий по комплексному использованию природного сырья, в том числе переработку вторичного сырья, а также создать механизм регулирования природопользования на всех этапах жизненного цикла проекта. С целью поддержки проектов по освоению месторождений редкоземельных металлов предлагается использовать такие инструменты, как предоставление кредитов и налоговых льгот, субсидий, а также применение части средств по углеродному налогу на выбросы парниковых газов.

Ключевые слова: зеленая экономика, экологические издержки, коренные народы, низкоуглеродное развитие, Арктика.

ECONOMIC APPRAISAL OF RARE-EARTH METALS ON LIFE CYCLE OF THE PROJECT AIMED AT DEVELOPMENT AND USE OF NATURAL RESOURCES: RUSSIAN - CHINEESE EXPERIENCE

Zhao Jier

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

The article studies extraction and use of rare-earth metals as a factor of green economy development. It shows possible negative impact during development of rare metal deposits on ecologic and economic system at different stages of extraction, transportation, including the Arctic zone and ore processing. Experience of Russia and China was analyzed in economic appraisal of costs and benefits during implementation of projects dealing with natural resource development with due regard to their life cycle. Methodological approach to integral economic assessment of rare-earth metals was advanced, including economic appraisal of involved natural resources and ecologic costs of production, which could fix prices on such resources with regard to ecologic factors, stimulate application of technologies on complex use of natural raw materials, which includes processing of secondary raw materials and work out the mechanism of regulating natural resource use at all stages of project life cycle. In order to support projects aimed at developing rare metal deposits it is proposed to use such tools as granting credits, tax privileges and subsidies and using a part of funds of carbon tax on greenhouse gases.

Keywords: green economy, ecologic costs, aboriginal peoples, low-carbon development, the Arctic.

¹ Статья подготовлена в рамках научного гранта «Шаг в науку», финансируемого РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Введение

Добыча и использование редкоземельных металлов относятся к приоритетным направлениям развития экономики и социальной сферы. Такой подход связан с их уникальными свойствами и востребованностью на рынке как стратегического вида минерального сырья [11]. В мировой практике получило широкое применение редкоземельных металлов для обеспечения низкоуглеродного развития, использования возобновляемых источников энергии, прежде всего в ветровой энергетике, производстве солнечных батарей, электромобилей [3; 4]. Концепция устойчивого развития в деятельности горнодобывающих предприятий базируется на интеграции и комплексном учете таких аспектов, как экономика, окружающая среда, местное сообщество, безопасность и эффективность. При этом следует учитывать, что добыча и использование редкоземельных металлов могут включать как положительные, так и отрицательные аспекты.

К выгодам территории, где осуществляется деятельность по освоению таких месторождений, можно отнести повышение дохода и содействие занятости местного населения, развитие инфраструктуры; к отрицательным последствиям – загрязнение природных объектов, нарушение почв, образование отходов, повышение радиационного фона и др. [12]. При этом освоение многих месторождений, прежде всего в Арктической зоне страны, может вызвать изъятие из оборота территорий традиционного природопользования, оленьих пастбищ [1], изменение режима мерзлотности почв и климата.

Такое влияние на эколого-экономическую систему может оказываться на различных этапах жизненного цикла проекта. Цель исследования – выявление последствий освоения месторождений редкоземельных металлов и разработка интегральной экономической оценки природных ресурсов и экологических издержек.

Редкоземельные металлы как фактор развития зеленой экономики

По имеющимся оценкам, развитие зеленых технологий может в несколько раз увеличить потребность экономики в металлах. Например, при строительстве ветряных турбин рост потребления металлов может вырасти на 300%, солнечных батарей – на 200%¹. При этом редкоземельные металлы являются критическими компонентами для большинства технологических продуктов. Благодаря своим свойствам эти металлы играют важную роль в различных отраслях. К примеру, в электроавтомобиле содержится около 10 кг редкоземельных металлов, а для ветрогенератора используется 900 кг этих материалов. Отметим, что основным драйвером мирового спроса на редкие элементы является развитие низкоуглеродной экономики.

Добыча редкоземельных металлов в мире имеет тенденцию к устойчивому росту. В 2023 г. их добыча в мире составляла 350 тыс. тонн, что в 3,6 раза больше, чем в 2003 г. (табл. 1). Ожидается увеличение спроса на редкоземельные металлы в 2040 г. в 7 раз относительно уровня их потребления в 2020 г. При современных темпах потребления имеющихся запасов таких металлов хватит на 60 лет, что может существенно повлиять на рост цен на такое сырье².

По прогнозам геологической службы США, в 2027 г. в мире будет добыто 379 тыс. тонн редкоземельных металлов, в 2030 г. – 467 тыс. тонн.

Важнейшую роль в добыче и в производстве металлов играет Китай, в то время как в потреблении – Китай, ЕС и США. Китай – основной производитель редкоземельных металлов (240 тыс. т). В России же добывается всего 2 тыс. тонн в год редкоземельных металлов, которые в основном извлекаются попутно. Большая часть таких месторождений расположена в удаленных

¹ URL: <https://dzen.ru/a/Zn6QuCQVnTcMH5yb>

² См.: Финансист. – 2024. – № 1 (33). – С. 4.

районах Сибири и в Арктической зоне страны. Данные месторождения отличаются низким качеством руд, а также слож-

ными процессами их добычи и переработки.

Т а б л и ц а 1
Динамика добычи редкоземельных металлов по странам мира, 2003–2023 гг.* (в тыс. т)

Год	Страна				Итого
	Китай	США	Австралия	Другие страны	
2003	92	-	-	5	97
2007	120	-	-	4	124
2011	105	-	2	9	116
2015	105	6	12	6	129
2019	132	28	20	39	219
2023	240	43	18	49	350
Итого	794	77	52	112	1 035

* Составлено по: Финансист. – 2024. – № 1 (33). – С. 4.

Обладая крупнейшими запасами редкоземельных металлов, Китай занимает также лидирующие позиции по их добыче. К основным месторождениям в стране можно отнести Байян Обо в городе Баотоу (редкоземельные металлы, ниобий), автономный район Внутренняя Монголия, рудник Вэйшань в провинции Шаньдун, рудник в районе Паньси провинции Сычуань, ресурсы редкоземельных металлов которых составляют 35 млн тонн [14], а их добыча на месторождении Байян Обо достигает 125 тыс. тонн в год.

Второе место по запасам редкоземельных металлов приходится на Вьетнам, который располагает несколькими месторождениями такого сырья. Австралия по добыче находится на третьем месте и на шестом – по запасам редкоземельного сырья. На Бразилию и Россию приходится соответственно третье и четвертое место по имеющимся запасам сырья.

Отметим, что Томторское месторождение редкоземельных металлов в России является одним из крупнейших в мире, его запасы содержат 154 млн тонн руды с высоким содержанием оксидов 10 редкоземельных элементов¹. Кроме того, в данном месторождении, помимо редкоземельных металлов, имеются также такие полезные

ископаемые, как уголь, железо, фосфориты и марганец. Стратегия освоения данного месторождения должна быть ориентирована на максимальную социальную и экономическую отдачу от использования данных ресурсов с учетом соблюдения экологических требований [8].

Следует отметить, что перспективы добычи редкоземельного сырья связаны также с разработкой ранее разведанных месторождений полезных ископаемых. Так, к примеру, было установлено, что выработанные пласты угольной шахты в США, которая эксплуатировалась с 50-х гг. XX в., включают значительные ресурсы редкоземельного сырья. Установлено, что редкоземельное сырье может извлекаться из техногенных отвалов месторождения Кулар в Якутии, где ранее добывалось россыпное золото [9], а также из техногенных месторождений при добыче апатита на Кольском полуострове, но для этого требуются большие затраты.

Северные редкоземельные рудники Китая в основном сосредоточены в Баотоу Байюньэбо и Сычуаньской Коронации, где добываются легкие редкоземельные ресурсы, в основном содержащие лантан, церий, празеодим, неодим и др. Ресурсы данных месторождений являются основой для развития редкоземельной промышленности в Баотоу. На юге страны также имеются редкоземельные рудники, где производятся

¹ URL: https://nauka.tass.ru/nauka/20997779?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru

редкоземельные элементы с доминированием ионных редкоземельных ресурсов.

Экологические последствия разработки редкоземельных металлов в Китае и в России

Процессы освоения месторождений редкоземельных ресурсов и переработки руды сопряжены с негативными воздействиями на окружающую среду. Например, в Китае в процессе добычи редкоземельных металлов применяются методы выщелачивания, что оказывает негативное воздействие на растительность, почву, сопровождается образованием хвостохранилищ для размещения отходов. Переработка руды редкоземельных металлов ведет к образованию доменных и редкоземельных шлаков, отходящих газов, сточных вод, содержащих вредные вещества. При добыче ионных редкоземельных металлов на юге Китая процессы выщелачивания связаны с вскрытием почвы, покрывающей поверхность шахты, что ведет к нарушению больших земельных площадей и уничтожению растительности.

На месторождении Байюньэбо на севере Китая, которое используется в основном для добычи железа, извлечение редкоземельных элементов является достаточно низким, а комплексное использование редкоземельных элементов составляет 10%. Небольшая часть фторсодержащего элемента при обогащении руды и выплавке редкоземельных металлов переходит в продукцию, а выбросы фторсодержащей пыли и фтористого газа, которые вредны для растительного и животного мира, могут попадать в водные объекты и почву через загрязнение атмосферы. Применение метода выщелачивания руды также может привести к развитию эрозионных процессов почвы, нарушению состояния водных объектов. В процессе производства редкоземельных металлов образуются такие отходы, как шлак водного и кислотного выщелачивания обожженной руды.

Что касается экологических последствий освоения месторождений редкоземельных металлов в России, то на примере

Томторского месторождения в Якутии видно, что экологическая обстановка, которая может сложиться при образовании отходов, хвостов передела, непростая. В имеющейся здесь руде редкоземельных металлов присутствуют уран и торий, естественный радиоактивный фон повышен и требуются специальные меры по обеспечению радиационной безопасности, особенно в условиях Крайнего Севера. Это создает дополнительные технологические и экологические сложности для освоения и использования таких месторождений.

Очевидно, что добыча руды редкоземельных металлов в условиях Арктики потребует значительных затрат на строительство объектов транспортной и экологической инфраструктуры (автодорога, хвостохранилище и др.)¹, а сам процесс переработки такой руды с применением гидрометаллургии, использованием кислот и щелочей может оказать вредное воздействие на природные системы.

В качестве показателей оценки почвы вблизи подобных объектов может быть использован суммарный показатель загрязнения, который определяется с учетом концентрации элементов-загрязнителей и характеристики функции почв. Такой подход предполагает использование информации об объектах накопленного вреда, включая карты бонитета почвенного покрова, сорбционных и окислительных функций почв, потенциальной способности почв к самоочищению [6].

Разработка Томторского месторождения и транспортировка руды на переработку затронут места традиционной деятельности коренных народов и их промыслы. К основным видам воздействия проекта по освоению данного месторождения на земельные ресурсы и почвенный покров можно отнести изменение целевого назначения по использованию сельскохозяйственных земель, включая производство земляных работ и строительство дорог, что приведет к изменению структуры земельного фонда, временному изъятию и нару-

¹ URL: <http://uhhan.ru/news/2024-04-28-18291>

шению продуктивных угодий и почвенного покрова, изъятию оленьих пастбищ и потере традиционных промыслов коренных народов, изменению ландшафта и рельефа на рассматриваемой территории, включая изменение водного режима, уси-

ление эрозионных процессов. В табл. 2 показаны возможные направления негативного воздействия на окружающую среду и традиционные промыслы коренных народов на этапах жизненного цикла проекта.

Таблица 2

Направления негативного воздействия на окружающую среду и традиционные промыслы коренных народов при добыче, транспортировке, переработке и использовании редкоземельных металлов

Вид негативного воздействия	Этап жизненного цикла проекта по освоению, добыче, транспортировке и переработке руды и использованию редкоземельных металлов				
	Геологическое изучение недр, разведка полезных ископаемых	Добыча полезных ископаемых, включая использование отходов обогащения	Транспортировка руды	Обогащение и переработка руды	Использование редкоземельных металлов в народном хозяйстве
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу	+/-	+	+	+	-
Выбросы загрязняющих веществ в водные объекты	+/-	+	-	+	-
Загрязнение почвы, в том числе тяжелыми металлами	+	+	+	-	-
Нарушение ландшафта, земель	+	+	+	-	-
Образование отходов	+/-	+	-	+	+
Загрязнение территории радиоактивными элементами	-	+	+	+	-
Климатические изменения, выбросы парниковых газов	-	+/-	+	-	-
Нарушение территорий традиционного природопользования	-	+	+	-	-

Примечание: (+) – наличие отрицательного воздействия, (-) – отсутствие воздействия.

Для учета интересов местного населения при реализации проектов, которые затрагивают территории традиционного природопользования, может быть использован опыт Канады в части партнерства заинтересованных сторон и соуправления арктическими территориями [5].

На рисунке показаны виды рисков, которые могут оказать влияние на эффективность реализации проекта по освоению месторождения редкоземельных ресурсов на различных этапах его жизненного цикла.

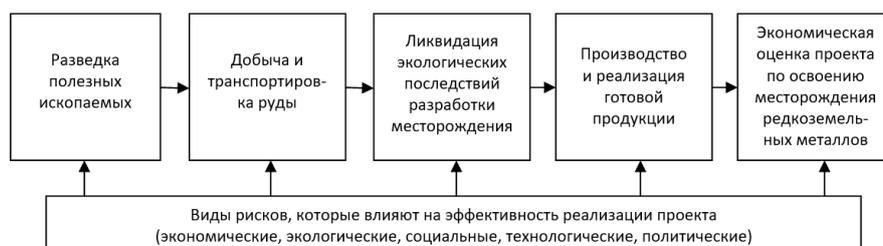


Рис. Виды рисков, которые влияют на эффективность реализации проекта по освоению месторождения редкоземельных ресурсов

Составлено по: [7].

Интегрированная экономическая оценка редкоземельных металлов

Традиционные подходы к регулированию экономики природопользования и землеустройства предполагают отдельно экономическую оценку природных ресурсов и экономическую оценку ущерба, причиняемого загрязнением окружающей среды. Нами предлагается интегральный подход к экономической оценке ресурсов редкоземельных металлов на всех этапах жизненного цикла проекта по освоению, добыче, переработке и использованию таких ресурсов.

При оценке природных благ возможно применение интеграции все большего числа ценностей, включая утилитарные (хозяйственные), социальные и экологические аспекты [13]. При этом такой подход включает оценку экологических и социальных последствий освоения природных ресурсов.

Таким образом, в общем виде интегральная экономическая оценка ресурсов редкоземельных металлов ($OЭ_{инт}$) включает суммарную оценку всех компонентов природных благ при освоении месторождения, совокупные экологические издержки, а также выгоды от использования готовой продукции:

$$OЭ_{инт}(t) = OЭ_{пр}(t) + U_{жц}(t) + OЭ_{в}(t),$$

где $OЭ_{пр}(t)$ – суммарная оценка (затраты и выгоды) от использования природных ресурсов в году t , руб.;

$U_{жц}(t)$ – совокупные экологические издержки (экономический ущерб от загрязнения окружающей среды) на стадии разведки, добычи и использования природных ресурсов в году t , руб.;

$OЭ_{в}(t)$ – оценка экономических, экологических и социальных выгод при использовании природного ресурса в году t , руб.

Рядом авторов анализируются экологические затраты и выгоды при разработке угольного разреза Хэйшань в Синьцзяне в Китае, что позволяет интегрировать учет этих факторов в качестве стоимостных параметров при проектировании горных работ в проектном анализе [17]. Такие оцен-

ки были направлены в первую очередь на количественную экономическую оценку вреда, наносимого окружающей среде горными работами.

В ходе оценки экологических издержек при проведении горных работ обычно учитывают масштаб добычи, местоположение участка и метод добычи, тип минерального сырья, чувствительность окружающей среды и другие факторы. Модель таких расчетов должна включать затраты на рекультивацию нарушенных земель, на создание хвостохранилища и управление отходами. Кроме того, проводится анализ занятой и поврежденной площади в результате ведения горных работ. При этом всю территорию работ можно разделить на площадь открытого карьера, площадь, занятую вспомогательными сооружениями и объектами инфраструктуры, площадь, занятую пустой породой и хвостохранилищами, а также земли, изъятые для транспортировки добываемой руды.

Площадь участка Буранный на Томгорском месторождении в Оленекском районе Якутии составляет 12 км². С учетом зоны стресса (1,7 км) площадь изъятия земель составит 32 км². На основе средней кадастровой оценки земли в данном районе (3,37 руб. / м²) кадастровая оценка изымаемых земельных ресурсов составит 107,84 млн рублей. Руда на переработку будет доставляться по зимнику от месторождения до поселения Хатанга в Красноярском крае (площадь изъятия земли составит 634,4 км², средняя кадастровая оценка земли в Анабарском районе Якутии – 2,67 руб./км²). Тогда экономическая оценка изымаемых земель составит 1 706,53 млн рублей. Таким образом, экономическая оценка земельных ресурсов на реализацию данного проекта может составить 1 814,37 (107,84 + 1 706,53) млн рублей.

Как отмечалось выше, разработка данного месторождения редкоземельных металлов затронет земли в Оленекском и Анабарском районах Арктической зоны Якутии, где коренные народы осуществляют свою традиционную деятельность.

С учетом имеющегося норматива удельных убытков (упущенной выгоды) коренных народов в зоне намечаемой деятельности (оленоводство, охота, рыбный промысел, сбор дикоросов) в размере 250 долларов на 1 км² [16] и изымаемой площади 666,4 км² убытки объектам традиционного природопользования коренных народов могут составить 233,2 тыс. долларов.

При определении экологической ценности природных ресурсов и экологических издержек при разработке полезных ископаемых может также учитываться оценка деградации экологических функций почвы в результате уничтожения растительности при проведении горных работ. Это связано с предоставлением экосистемами тундры функций природного капитала по сохранению воды, почвы, связыванию углерода, поддержанию биоразнообразия, выделению кислорода и др. Таким образом, экономические потери экологической ценности природных ресурсов при разработке данного месторождения представляют собой сумму локальных оценок природных ресурсов (водных, земельных, и др.), а также услуг природного капитала (выделение кислорода, поглощение и ассимиляция вредных выбросов парниковых газов в атмосферу и др.).

Аналогично могут быть определены экологические издержки на основе суммарных затрат на очистку загрязненных вод, атмосферы, почвы (затраты на рекультивацию нарушенных земель), переработку и утилизацию отходов и др. Например, по оценкам, экологические затраты на добычу редкоземельных металлов в месторождении Байян Обо в 2021 г. составляли 399,65 млн юаней, большая часть которых (90%) приходилась на отходы. С учетом затрат на экологическое управление цена на оксиды редкоземельных металлов может составить 25 509 юаней/т [2] (в 2023 г. 1 китайский юань был равен 12,12 российского рубля.). Такие экологические издержки предлагается учитывать при определении стоимости готовой продукции и эффективности про-

екта в целом. Применительно к оценке проекта освоения редкоземельных месторождений на примере Томторского месторождения отдельными авторами предлагается использовать метод реальных опционов, который позволяет оценить не только негативные факторы, но и дополнительные выгоды и скрытые возможности при реализации таких проектов [15]. Оценка экологических последствий влияния подобных проектов может осуществляться на основе экологического аудита территории.

Меры поддержки проектов по освоению месторождений редкоземельных металлов

Среди мер поддержки проектов по производству редкоземельных металлов можно выделить предоставление кредитов под низкий процент и налоговых льгот недропользователям и переработчикам руды. Так, к примеру, Россия предоставляет такие кредиты и налоговые льготы для 11 редкоземельных проектов с объемом инвестиций 1,5 млрд долларов с целью их увеличения с 1,3 до 10% к 2030 г. В мировой практике используются также инструменты субсидирования проектов в данной сфере. В 2023 г. Министерство энергетики США запустило программу субсидирования проектов, чтобы сократить зависимость страны от импорта таких металлов.

В качестве экономического инструмента поддержки проектов в сфере освоения месторождений редкоземельных металлов нами предлагается использование средств от углеродного налога. Проекты по освоению месторождений редкоземельных металлов являются достаточно затратными. С другой стороны, редкоземельные металлы применяются в том числе для развития солнечной и ветровой энергетики, т. е. для низкоуглеродного развития экономики.

В России и в Китае рассматриваются возможности применения углеродного налога для регулирования снижения выбросов парниковых газов. В настоящее время общий объем углеродных сделок в Китае составляет 12,318 млрд юаней в год,

а средняя цена торговли углеродными квотами составляет 70 юаней за тонну.

В ответ на введение европейского налога на углеродные выбросы дружественные России страны также будут вводить свое углеродное регулирование, поэтому внедрение в России собственной системы взимания углеродного налога будет направлено на сохранение данных средств внутри страны. Речь идет о том, чтобы при экспорте своих товаров не платить налог на углерод в европейский бюджет, а направлять его в национальные бюджеты и использовать на поддержку проектов по декарбонизации экономики, что позволяет России и Китаю увязывать свои инструменты углеродного регулирования с подходами торговых партнеров в рамках ЕАЭС и БРИКС [10]. Кроме того, в качестве инструмента согласования интересов недропользователя и местного населения при добыче редкоземельных металлов, в том числе в Арктике, можно использовать выделение части акций добывающей компании местному населению.

Заключение

В 2021 г. правительствами Китая и России был подписан Меморандум о взаимопонимании по укреплению двустороннего сотрудничества в области редкоземельных металлов, который направлен на повышение уровня сотрудничества в области исследований, производства, переработки редкоземельных металлов и торговли ими.

В последние годы Китай и Россия играют все более заметную роль в сфере произ-

водства и потребления редкоземельной продукции. В то же время вопросы воздействия на окружающую среду в процессе добычи, транспортировки руды и ее переработки требуют повышенного внимания. Поэтому Китай и Россия должны усилить стратегические исследования по глобальной цепочке развития редкоземельной промышленности, развивать инициативы по зеленому сотрудничеству.

Действующая система ценообразования на редкоземельные ресурсы в Китае не в полной мере отражает экологические издержки производства. Предлагаемая интегральная система экономической оценки редкоземельных ресурсов, включающая как экономическую оценку затрат на природные ресурсы, так и экологические издержки с учетом жизненного цикла проекта позволяет обосновать цену на такие ресурсы, развивать их производство и переработку с учетом интернализации экологических затрат, создать необходимую экономическую основу для решения задач охраны окружающей среды. В результате если потери экологической стоимости будут учтены в проектном анализе и финансовых показателях горнодобывающей промышленности, то нормы прибыли будут существенно ограничены. Китай и Россия должны развивать комплексное использование редкоземельных ресурсов, уделяя внимание переработке сопутствующих ресурсов, стимулировать внедрение оборудования для переработки вторичных ресурсов редкоземельных элементов.

Список литературы

1. Бурцева Е. И., Потравный И. М., Гассий В. В., Слепцов А. Н., Величенко В. В. Вопросы оценки и компенсации убытков коренным малочисленным народам в условиях промышленного освоения Арктики // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 1 (33). – С. 27–42.
2. Ван А., Ли И., Ли Ж., Фэн С. Анализ затрат на экологическое воздействие при разработке и использовании редкоземельных ресурсов в Байян Обо. Внутренняя Монголия // Acta Earth Sinica. – 2017. – № 38 (1). – С. 94–100.
3. Крюков В. А., Жданев О. В., Яценко В. А., Фролов К. Н. Постоянные неодимовые магниты в российской ветроэнергетике // Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93. – № 5. – С. 428–438.

4. Крюков В. А., Яценко В. А., Крюков Я. В. Взаимосвязь «РЗМ–энергопереход» в контексте проектов полного цикла // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65. – № 5. – С. 416–427.
5. Новиков А. В. Политика планирования землепользования в целях развития территорий традиционного природопользования: опыт Канады // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – 2021. – Т. 18. – № 4 (118). – С. 169–179.
6. Пичугин Е. А., Шенфельд Б. Е., Сомова Т. Н. Оценка воздействия объектов накопленного вреда в Арктике на компоненты природной среды // Арктика: экология и экономика. – 2024. – Т. 14. – № 2. – С. 249–260.
7. Потравная Е. В. Этносоциальные аспекты хозяйственного освоения Арктики с учетом жизненного цикла проекта // Региональные агросистемы: экономика и социология. – 2019. – № 1. – С. 17.
8. Потравная Е. В., Кривошапкина О. А. Оценка приоритетности компенсационных проектов различными группами населения при промышленном освоении Арктики // Вестник университета. – 2022. – № 1. – С. 175–188.
9. Потравный И. М., Новиков А. В., Чавез Феррейра К. Й. Ликвидация объектов накопленного экологического ущерба в прибрежной арктической зоне на основе методов ESG-финансирования // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26. – № 10. – С. 60–65.
10. Потравный И. М., Чжао Ц. Возможности использования средств от углеродного налога для финансирования проектов по декарбонизации экономики // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании : материалы XIV Международной научно-практической конференции, посвященной 117-летию РЭУ им. Г. В. Плеханова. – М., 2024. – С. 177–183.
11. Потравный И. М., Яшалова Н. Н., Новиков А. В., Чжао Ц. Использование редкоземельных металлов в возобновляемой энергетике: возможности и риски // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28. – № 1. – С. 11–15.
12. Ресин В. И., Чжао Ц. Обоснование проектов развития месторождений редкоземельных металлов в Арктической зоне России с учетом их воздействия на окружающую среду // Горизонты экономики. – 2024. – № 1 (81). – С. 88–96.
13. Юрак В. В., Игнатьева М. Н., Полянская И. Г. Теория оценки ресурсов в экономике природопользования: территориальный аспект // Экономика региона. – 2021. – Т. 17. – Вып. 4. – С. 1059–1078.
14. Ян Ч. Обзор разработки рудника Байян Обо и переосмысление ресурсного потенциала // Информация о редких землях. – 2020. – № 3. – С. 6–14.
15. Яценко В. А., Самсонов Н. Ю., Крюков Я. В. Опционный подход к экономической оценке проектов разработки редкоземельных месторождений // Мир экономики и управления. – 2018. – Т. 18. – № 4. – С. 69–84.
16. Potravny I., Novoselov A., Novoselova I., Chávez Ferreyra K. Y., Gassiy V. Route Selection for Minerals' Transportation to Ensure Sustainability of the Arctic // Sustainability. – 2022. – Vol. 14 (23). – P. 16039.
17. Xu X., Zhu Z., Ye L., Gu X., Wang Q., Zhao Y., Liu S., Zhao Y. Ultimate Pit Limit Optimization Method with Integrated Consideration of Ecological Cost, Slope Safety and Benefits: A Case Study of Heishan Open Pit Coal Mine // Sustainability. – 2024. – Vol. 16. – P. 5393.

References

1. Burtseva E. I., Potravny I. M., Gassiy V. V., Sleptsov A. N., Velichenko V. V. Voprosy otsenki i kompensatsii ubytkov korennyim malochislennym narodam v usloviyakh promyshlennogo osvoeniya Arktiki [Estimation and Compensation for Losses to Aboriginal

Peoples in Conditions of Industrial Development of the Arctic]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [The Arctic: Ecology and Economics], 2019, No. 1 (33), pp. 27–42. (In Russ.).

2. Van A., Li I., Li Zh., Fen S. Analiz zatrat na ekologicheskoe vozdeystvie pri razrabotke i ispolzovanii redkozemelnykh resursov v Bayyan Obo. Vnutrennyaya Mongoliya [Analyzing Costs of Ecologic Impact during Development and Use of Rare-Earth Resource in Baiyan Obo. Inner Mongolia]. *Acta Earth Sinica*, 2017, No. 38 (1), pp. 94–100. (In Russ.).

3. Kryukov V. A., Zhdaneev O. V., Yatsenko V. A., Frolov K. N. Postoyannye neodimovye magnity v rossiyskoy vetroenergetike [Permanent ND Magnets in Russian Wind Power Engineering]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2023, Vol. 93, No. 5, pp. 428–438. (In Russ.).

4. Kryukov V. A., Yatsenko V. A., Kryukov Ya. V. Vzaimosvyaz «RZM–energoperekhod» v kontekste proektov polnogo tsikla [Interconnection of ‘RZM-Energy Transition’ in Context of Projects of Complete Cycle]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore deposits], 2023, Vol. 65, No. 5, pp. 416–427. (In Russ.).

5. Novikov A. V. Politika planirovaniya zemlepolzovaniya v tselyakh razvitiya territoriy traditsionnogo prirodopolzovaniya: opyt Kanady [Policy of Planning Land Use Aimed at Development of Territories of Traditional Natural Resource Usage: Canada Experience]. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2021, Vol. 18, No. 4 (118), pp. 169–179. (In Russ.).

6. Pichugin E. A., Shenfeld B. E., Somova T. N. Otsenka vozdeystviya obektov nakoplennoy vreda v Arktike na komponenty prirodnoy sredy [Estimating the Impact of Accumulated Damage in the Arctic on Natural Environment Components]. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economy], 2024, Vol. 14, No. 2, pp. 249–260. (In Russ.).

7. Potravnaya E. V. Etnosotsialnye aspekty khozyaystvennogo osvoeniya Arktiki s uchetom zhiznennogo tsikla proekta [Ethno-Social Aspects of Economic Development of the Arctic with Regard to Life Cycle of Project]. *Regionalnye agrosistemy: ekonomika i sotsiologiya* [Regional Agro-Systems: Economics and Sociology], 2019, No. 1, p. 17. (In Russ.).

8. Potravnaya E. V., Krivoshapkina O. A. Otsenka prioritnosti kompensatsionnykh proektov razlichnymi gruppami naseleniya pri promyshlennom osvoenii Arktiki [Assessing Priority of Projects by Different Groups of Population during Industrial Development of the Arctic]. *Vestnik universiteta* [Bulletin of the University], 2022, No. 1, pp. 175–188. (In Russ.).

9. Potravniy I. M., Novikov A. V., Chavez Ferreyra K. Y. Likvidatsiya obektov nakoplennoy ekologicheskogo ushcherba v pribrezhnoy arkticheskoy zone na osnove metodov esg-finansirovaniya [Eliminating Objects of Accumulated Ecologic Damage in Seaside Arctic Zone by Methods of esg-Financing]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2022, Vol. 26, No. 10, pp. 60–65. (In Russ.).

10. Potravniy I. M., Chzhao Ts. Vozmozhnosti ispolzovaniya sredstv ot uglerodnogo naloga dlya finansirovaniya proektov po dekarbonizatsii ekonomiki [Opportunities to Use Funds of Carbon Tax to Finance Projects on De-Carbonization of Economy]. *Sovremennyye problemy upravleniya proektami v investitsionno-stroitelnoy sfere i prirodopolzovanii: materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 117-letiyu REU im. G. V. Plekhanova* [Current Problems of Project Management in Investment and Construction Field and Natural Resource Use: materials of the 14th International Conference, Dedicated to the 117th Anniversary of the Plekhanov Russian University of Economics]. Moscow, 2024, pp. 177–183. (In Russ.).

11. Potravniy I. M., Yashalova N. N., Novikov A. V., Chzhao Ts. Ispolzovanie redkozemelnykh metallov v vozobnovlyаемой energetike: vozmozhnosti i riski [Using Rare-Earth Metals in Renewal Power Engineering: Opportunities and Risks]. *Ekologiya i*

promyshlennost Rossii [Ecology and Industry in Russia], 2024, Vol. 28, No. 1, pp. 11–15. (In Russ.).

12. Resin V. I., Chzhao Ts. Obosnovanie proektov razvitiya mestorozhdeniy redkozemelnykh metallov v Arkticheskoy zone Rossii s uchetom ikh vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu [Validation of Projects of Rare-Earth Metal Deposit Development in the Arctic Zone of Russia with Regard to their Impact on Environment]. *Gorizonty ekonomiki* [Horizons of Economics], 2024, No. 1 (81), pp. 88–96. (In Russ.).

13. Yurak V. V., Ignateva M. N., Polyanskaya I. G. Teoriya otsenki resursov v ekonomike prirodopolzovaniya: territorialniy aspekt [Theory of Estimating Resources in Economy of Natural Resource Use: Territorial Aspect]. *Ekonomika regiona* [Economy of Region], 2021, Vol. 17, Issue 4, pp. 1059–1078. (In Russ.).

14. Yan Ch. Obzor razrabotki rudnika Baiyan Obo i pereosmyslenie resursnogo potentsiala [Review of Development of Baiyan Obo Deposit and Revising of Resource Potential]. *Informatsiya o redkikh zemlyakh* [Information about Rare Lands], 2020, No. 3, pp. 6–14. (In Russ.).

15. Yatsenko V. A., Samsonov N. Yu., Kryukov Ya. V. Optsionniy podkhod k ekonomicheskoy otsenke proektov razrabotki redkozemelnykh mestorozhdeniy [Option Approach to Economic Estimation of Projects of Rare-Earth Deposit Development]. *Mir ekonomiki i upravleniya* [World of Economics and Management], 2018, Vol. 18, No. 4, pp. 69–84. (In Russ.).

16. Potravny I., Novoselov A., Novoselova I., Chávez Ferreyra K. Y., Gassiy V. Route Selection for Minerals' Transportation to Ensure Sustainability of the Arctic. *Sustainability*, 2022, Vol. 14 (23), p. 16039.

17. Xu X., Zhu Z., Ye L., Gu X., Wang Q., Zhao Y., Liu S., Zhao Y. Ultimate Pit Limit Optimization Method with Integrated Consideration of Ecological Cost, Slope Safety and Benefits: A Case Study of Heishan Open Pit Coal Mine. *Sustainability*, 2024, Vol. 16, p. 5393.

Поступила: 25.07.2024

Принята к печати: 21.10.2024

Сведения об авторе

Чжао Цзиэр

аспирантка базовой кафедры «Управление проектами и программами Капитал Групп» РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», 109992, Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: 3362361839@qq.com

Information about the author

Zhao Jier

Post-Graduate Student of the Basic Department "Project and Program Management Capital Group" of the PRUE.
Address: Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 109992, Russian Federation.
E-mail: 3362361839@qq.com