МРНТИ 06.52.13 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1340**

РАЗВИТИЕ ОТРАСЛИ И ПОЛНОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ КАЗАХСТАНА: ОБЗОР ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВ

Г.С. Тайкулакова, Л.Т. Баядилова, М.З. Андаков

Алматы Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан

Кореспондент-автор: loribayadilova@gmail.com

В настоящее время правительство Казахстана уделяет большое внимание не только обрабатывающей отрасли, но и траекторному развитию производства редких и редкоземельных металлов. Экономика Казахстана может и должна развиваться за счет диверсификации и цифровизации обрабатывающей промышленности, постепенно отходя от сырьевой направленности. И не только традиционно развивающиеся отрасли обработки должны показывать рост, но и специфические направления, такие как редкоземельные металлы и их производство.

В статье представлен систематизированный обзор развития отрасли редких и редкоземельных металлов Казахстана через призму цепочки добавленной стоимости upstream-midstream-downstream. Актуальность исследования определяется ростом мирового спроса на критические минералы в энергетике, электронике, оборонной промышленности и низкоуглеродных технологиях, а также усилением конкуренции за устойчивые и диверсифицированные поставки. Цель исследования состоит в выявлении структурных ограничений и перспектив формирования полного или селективно-полного производственного цикла редких и редкоземельных металлов в Казахстане.

Методологическую основу составили принципы структурированного обзора литературы с использованием логики PRISMA 2020, тематический контент-анализ, сравнительный анализ и экспертно-аналитический сценарный подход. Установлено, что сильной стороной Казахстана выступает наличие ресурсной базы и отдельных компетенций в металлургии и критических минералах, тогда как ключевое ограничение связано с недостаточным развитием midstream-звена: технологий разделения, глубокой химико-металлургической переработки, производства оксидов, солей, сплавов и магнитных материалов. Показано, что в условиях доминирования Китая и активной промышленной политики ЕС реалистичной траекторией для Казахстана является не универсальное воспроизведение всей цепочки, а селективная локализация наиболее перспективных звеньев с последующим расширением downstream-сегментов и рециклинга. Научная новизна статьи состоит в интеграции геологических, технологических и институционально-политических исследований в единую аналитическую рамку цепочки стоимости и в обосновании поэтапной модели развития отрасли полного цикла в Казахстане.

Ключевые слова: редкие металлы, редкоземельные элементы, критические минералы, цепочка добавленной стоимости, переработка, Казахстан.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ СИРЕК ЖӘНЕ СИРЕК ЖЕР МЕТАЛДАРЫ САЛАСЫ МЕН ТОЛЫҚ ӨНДІРІСТІК ЦИКЛДІ ДАМЫТУ: МӘСЕЛЕЛЕР МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРҒА ШОЛУ

Г.С. Тайкулакова, Л.Т. Баядилова, М.З. Андаков

Алматы Менеджмент Университеті, Алматы, Казахстан,
e-mail: loribayadilova@gmail.com

Қазіргі уақытта Қазақстан үкіметі тек өндіріс саласына ғана емес, сонымен қатар сирек кездесетін және сирек кездесетін жер металдарын өндіруді дамытуға да баса назар аударуда. Қазақстан экономикасы өңдеу өнеркәсібін әртараптандыру және цифрландыру арқылы дами алады және дами алады, шикізатқа негізделген тәсілден біртіндеп бас тартады. Өсімді тек дәстүрлі түрде дамып

келе жатқан өндіріс салалары ғана емес, сонымен қатар сирек кездесетін жер металдары және оларды өндіру сияқты нақты салалар да көрсетуі керек.

Бұл мақалада Қазақстанның сирек кездесетін және сирек кездесетін жер металдары өнеркәсібінің дамуына жоғары-орта-төменгі құндылықтар тізбегі тұрғысынан жүйелі шолу ұсынылған. Бұл зерттеудің өзектілігі энергетика, электроника, қорғаныс және төмен көміртекті технологиялар салаларындағы маңызды минералдарға деген әлемдік сұраныстың артуымен, сондай-ақ тұрақты және әртараптандырылған жеткізулер үшін бәсекелестіктің күшеюімен анықталады.

Зерттеудің мақсаты-Қазақстанда сирек кездесетін және сирек кездесетін жер ме-талдарын өндірудің толық немесе таңдамалы толық циклін дамытудың құрылымдық шектеулері мен перспективаларын анықтау. Әдістемелік негіз PRISMA 2020 құрылымын, тақырыптық мазмұнды талдауды, салыстырмалы талдауды және сараптамалық-талдау сценарийлік тәсілін қолдана отырып, құрылымдық әдебиеттерге шолу қағидаттарына негізделген. Қазақстанның күші оның ресурстық базасында және металлургия мен маңызды минералдар саласындағы нақты құзыреттіліктерінде екені анықталды, ал негізгі шектеу орта ағынды буынның: бөлу технологияларының, терең химиялық-металлургиялық өңдеудің және оксидтердің, тұздардың, қорытпалардың және магниттік материалдардың өндірісінің дамымағандығы болып табылады. Қытайдың үстемдігін және ЕО-ның белсенді өнеркәсіптік саясатын ескере отырып, Қазақстан үшін шынайы траектория бүкіл тізбекті әмбебап қайта өндіру емес, ең перспективалы буындарды таңдамалы түрде оқшаулау, содан кейін төменгі ағынды сегменттерді кеңейту және қайта өңдеу екені көрсетілген.

Бұл мақаланың ғылыми жаңалығы геологиялық, технологиялық және институционалдық-саяси зерттеулерді құндылықтар тізбегінің бірыңғай аналитикалық негізіне біріктіруде және Қазақстанда толық циклді өнеркәсіпті дамытудың кезең-кезеңімен моделін негіздеуде жатыр.

Түйін сөздер: сирек кездесетін металдар, сирек кездесетін жер элементтері, маңызды минералдар, құндылықтар тізбегі, өңдеу, Қазақстан.

DEVELOPMENT OF THE RARE AND RARE EARTH METALS INDUSTRY AND THE FULL PRODUCTION CYCLE IN KAZAKHSTAN: AN OVERVIEW OF CHALLENGES AND PROSPECTS

G. S. Taikulakova, L.T. Bayadilova✉, M.Z. Andakov

Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: loribayadilova@gmail.com

Currently, the government of Kazakhstan is paying close attention not only to the manufacturing sector but also to the development of rare and rare earth metal production. Kazakhstan's economy can and should develop through diversification and digitalization of the manufacturing industry, gradually moving away from a raw materials-based approach. Growth should be demonstrated not only by traditionally developing manufacturing sectors, but also by specific areas such as rare earth metals and their production.

This article presents a systematic review of the development of Kazakhstan's rare and rare earth metals industry through the lens of the upstream-midstream-downstream value chain. The relevance of this study is determined by the growing global demand for critical minerals in the energy, electronics, defense, and low-carbon technologies sectors, as well as intensifying competition for sustainable and diversified supplies. The objective of the study is to identify structural constraints and prospects for the development of a full or selectively full production cycle for rare and rare earth metals in Kazakhstan. The methodological framework was based on the principles of a structured literature review using the PRISMA 2020 framework, thematic content analysis, comparative analysis, and an expert-analytical scenario approach. It was established that Kazakhstan's strength is its resource base and specific competencies in metallurgy and critical minerals, while a key limitation is the underdevelopment of the midstream link: separation technologies, deep chemical-metallurgical processing, and the production of oxides, salts, alloys, and

magnetic materials. It is shown that, given China's dominance and the EU's active industrial policy, a realistic trajectory for Kazakhstan is not the universal reproduction of the entire chain, but the selective localization of the most promising links, followed by the expansion of downstream segments and recycling.

The scientific novelty of this article lies in the integration of geological, technological, and institutional-political research into a unified analytical framework of the value chain and the substantiation of a phased model for the development of a full-cycle industry in Kazakhstan.

Keywords: rare metals, rare earth elements, critical minerals, value chain, processing, Kazakhstan.

Введение. Редкие и редкоземельные металлы (РМ и РЗЭ) превратились в один из ключевых ресурсов новой индустриальной эпохи. Их значимость определяется широким использованием в электромобилях, ветрогенераторах, силовой электронике, системах накопления энергии, аэрокосмической технике, оборонной промышленности и цифровой инфраструктуре. По мере ускорения энергетического перехода и цифровизации мировой экономики редкоземельные элементы становятся не только сырьевым, но и геоэкономическим фактором развития [1,2].

Международные аналитические обзоры показывают, что глобальная конкуренция смещается от простого доступа к месторождениям к контролю над всей цепочкой создания стоимости: от геологоразведки и добычи до разделения, химической переработки, производства функциональных материалов и рециклинга. В этой связи особое значение приобретают страны, способные встроиться в устойчивые цепочки поставок критических минералов и сократить внешнюю технологическую зависимость [3,4].

Для Казахстана данная проблематика имеет двойное значение. С одной стороны, страна располагает перспективной минерально-сырьевой базой и отдельными металлургическими компетенциями в сфере критических минералов. С другой стороны, в отечественной и зарубежной литературе исследования чаще всего сосредоточены либо на геологии и минералогии отдельных месторождений, либо на частных технологических решениях извлечения и разделения РЗЭ, тогда как системный анализ всей цепочки добавленной стоимости отрасли в разрезе Казахстана остается фрагментарным. В этом и состоит исследовательский разрыв (research gap), который особенно заметен в условиях роста международного интереса к критическим минералам и активизации промышленной политики ЕС, США и Китая [5,6].

В научной литературе принято различать редкие металлы как более широкую группу элементов, используемых в высокотехнологичных отраслях, и редкоземельные элементы как специфическую подгруппу, включающую скандий, иттрий и лантаноиды. При этом с точки зрения промышленной политики ключевым становится не только наличие ресурсов, но и способность последовательно организовать upstream-, midstream- и downstream-звенья отрасли. Гипотеза исследования состоит в том, что основное ограничение формирования полного производственного цикла редких и редкоземельных металлов в Казахстане связано не столько с дефицитом сырьевой базы, сколько с недоразвитием midstream- и downstream-звеньев - технологий разделения, глубокой химико-металлургической переработки, выпуска соединений и функциональных материалов, а также рециклинга.

Цель исследования - на основе систематизированного обзора современной литературы и официальных документов выявить структурные ограничения и перспективы развития отрасли редких и редкоземельных металлов Казахстана в логике полной цепочки добавленной стоимости. Для достижения цели решались следующие задачи:

- уточнить категориальный аппарат и место РМ/РЗЭ в системе критических минералов;

- систематизировать результаты исследований по ресурсной базе Казахстана;

- выделить ключевые технологические и институциональные ограничения на этапах

upstream–midstream–downstream;

- провести сравнительный анализ позиций Казахстана, Китая и Европейского союза;

- предложить поэтапную экономическую модель развития селективно-полного производственного цикла.

Научная новизна статьи состоит в том, что разрозненные геологические, технологические и институционально-политические исследования по редким и редкоземельным металлам интегрированы в единую аналитическую рамку цепочки стоимости. В отличие от описательных обзоров, статья не только систематизирует литературу, но и формирует авторскую интерпретацию наиболее реалистичной траектории развития отрасли в Казахстане.

Материалы и методы. Исследование выполнено в формате структурированного обзора литературы с опорой на логику PRISMA 2020, адаптированную для междисциплинарной тематики критических минералов. Такой подход позволил сделать процедуру отбора источников воспроизводимой и отделить доказательную академическую базу от новостных, публицистических и не рецензируемых материалов. Критериями включения являлись:

- рецензируемый статус публикации или официальный характер документа;

- непосредственная релевантность тематике РМ/РЗЭ, критических минералов и производственных цепочек;

- наличие результатов, пригодных для анализа в контексте Казахстана.

Исключались дублирующиеся публикации, новостные сообщения в качестве основной доказательной базы, видеоматериалы и не рецензируемые препринты без последующей верификации. В качестве аналитических инструментов использовались:

- тематический контент-анализ для группировки результатов по звеньям цепочки стоимости;

- сравнительный анализ Казахстана, Китая и Европейского союза по степени интеграции в value chain;

- экспертно-аналитический сценарный анализ для оценки возможных траекторий развития отрасли. Поскольку работа основана исключительно на опубликованных и открытых источниках, специальных процедур этического согласования исследования не требовалось.

Таблица 1 - Дизайн исследования и параметры отбора источников

№	**Параметр**	**Характеристика**
1	Формат исследования	Структурированный обзор литературы с адаптацией логики PRISMA 2020 для междисциплинарной тематики РМ/РЗЭ
2	Период публикаций	Преимущественно 2020–2025 гг.; для базовых работ допущены единичные более ранние источники
3	Итоговый корпус	32 источника, в том числе 24 рецензируемые научные публикации и 8 официальных документов
4	Критерии включения	Рецензируемый статус или официальный характер; релевантность тематике value chain, переработки, рециклинга и отраслевой политики
5	Критерии исключения	Новостные сообщения как основа доказательной базы, видеоматериалы, нерецензируемые препринты, дублирующие и нерелевантные источники
6	Методы анализа	Тематический контент-анализ; сравнительный анализ Казахстана, Китая и ЕС; экспертно-аналитический сценарный анализ
Примечание: Разработано авторами		

В статье «Комплексное исследование пространственных вариаций распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) и их потенциала в углях Шубаркольского месторождения, Казахстан» авторы пишут о необходимости поиска новых источников в металлургической отрасли. Кроме редкоземельных металлов Казахстан богат углем, из которого извлекаются металлы для получения чистой энергии. Исследования доказали, что получение редкоземельных металлов из твердых полезных ископаемых на месторождении Шубарколь, что уголь является потенциальным минеральным сырьем как источник получения редких металлов [6].

Еще одним источником редкоземельных металлов является месторождение Кундыбай в Северный Казахстан. Авторы подтверждают в своем исследовании, что редкоземельные металлы выщелачиваются из руды, которая является потенциальным источником редких и редкоземельных металлов. По мнению авторов, суммарное содержание всех РЗЭ в коре выветривания составляет 372,7 г/т, из них 82,6% составляют Sc, Y, La, Ce и Nd, находящиеся в виде комплексных солей и самородных минералов. По исследованиям ученых и геологических данных, месторождение Кундыбай является одним из основных и крупнейших месторождений РЗЭ в Центральной Азии. Содержание РЗЭ в этой руде колеблется в пределах 0,048-0,064%, а по некоторым данным достигает 0,320% [7].

Авторы Куаныш Тогизов, Людмила Исаева и др. в статье “Редкоземельные элементы в рудном поле Шок-Карагай (Сырымбетский рудный район, Северный Казахстан) и визуализация месторождений с использованием геоинформационной системы” изучают архитектуру месторождений Северного Казахстана и обосновывают, что редкоземельные элементы, отлагающиеся в ионно-адсорбционных глинисто-рудных месторождениях Северного Казахстана, выявляются с использованием минералогических и геохимических методов, а сам тип месторождения образовался в результате вторичных геологических процессов, то есть через выветривание и переноса осадков [8].

Авторы Дьячков Б.А., Ойцева Т. А., Зимановская Н.А., Бисатова А. Ю., Агалиева Б. Б. и Агеева О. В. исследуют закономерности формирования и пространственного размещения месторождений редких металлов в Калба-Нарымской зоне и других геологических структурах (Восточный Казахстан) [9].

В статье авторов Н. С. Мурзакасымовой, Н. А. Бектенова, М. А. Гавриленко “Сорбция редкоземельных металлов: обзор литературы” рассматриваются различные проблемы по восстановлению РЗМ и что среди множества методов восстановления или извлечения редкоземельных металлов из пород являются адсорбционные методы, наиболее экономичные и менее трудоемкие. В статье представлены недавно опубликованные литературные данные по удалению редкоземельных металлов водными растворами различных недорогих адсорбентов [10].

Таким образом, можно выделить основные исследования, проводимые казахстанскими учеными (Таблица 2):

Кроме того, были изучены публикации зарубежных ученых и проводимые исследования. Обзорная статья авторов Mustafa Rezaei, Gabriela Sanchez-Lecuona, Omid Abdolazimi, «A_Cross-Disciplinary Review of Rare Earth Elements Deposit Types Mineralogy_Machine_Learning_Environmental_Impact and_Recycling», охватывающая типы месторождений, минералогию, современные подходы, включая машинное обучение, а также экологические и утилизационные аспекты [11].

В исследовании авторов Bayarbayasgalan A., Amarsanaa D., Batchuluun B., et al. «Enhanced recovery of rare earth elements from carbonatite ore by biological pretreatment» описывается и рассматривается биологическая предварительная обработка руды для повышения выхода редкоземельных элементов по сравнению с прямым кислотным выщелачиванием [12]. В статье «Анализ данных о минерализации редкоземельных элементов: применение машинного обучения на основе данных синтеза функциональных материалов» авторы рассматривают применение методов машинного обучения к дан-

ным по минерализации редкоземельных металлов, что демонстрирует новые подходы к прогнозированию и поиску месторождений [13].

Таблица 2 - Ключевые исследования отечественных ученых

Название / Тема	Авторы / Год	Краткое содержание
A Comprehensive Study of the Spatial Variations in the Distribution of Rare Earth Elements (REE) and Their Potential in the Coals of the Shubarkol Deposit, Kazakhstan	Gulim Blyalova; Altynay Amangeldykyzy; A. N. Kopobayeva; Valentin Zhirkov; Stanislav Ryzhkov (2025)	Геохимическое исследование углей Шубаркольского месторождения: распределение редкоземельных элементов, оценка потенциала в качестве источника REE.
Investigation and Kinetic Analysis of Rare Earth Elements Leaching: Case Study of the Weathering Crust of the Kundybay Deposit (Northern Kazakhstan)	Rustam Tokpayev; Tamina Khavaza; Zair Ibraimov; Bagashar Zhaksybay; A. Ciorita; Kanagat Kishibayev; Elena Zlobina; Mikhail Nauryzbaev (2025)	Изучение выщелачивания REE из выветрелой коры руды на месторождении Кундыбай: разработка оптимальных условий извлечения, кинетический анализ.
Rare-earth metal sorption: literary review	N. S. Murzakassymova; N. A. Bektenov; M. A. Gavrilenko (2023)	Обзор методов сорбции как способа восстановления/извлечения редкоземельных металлов из техногенных и природных сред.
Rare earth elements in the Shok-Karagay ore fields (Northern Kazakhstan) and 3D visualization of deposits using GIS	Kuanysh Togizov; Lyudmila Issayeva; Daulet Muratkhanov; Madina Kurmangazhina; Maciej Swęd; Agata Duczmal-Czernikiewicz (2023)	Минералогически-геохимический анализ залежей, 3D-моделирование шихты и распределения REE, оценка запаса/распределения.
East Kazakhstan Rare Earths Deposits Formation	Boris A. Dyachkov; T.A. Oitseva; N.A. Zimanovskaya; A.Y. Bissatova; B. B. Agalieva; O. V. Ageeva (2021)	Обзор/исследование геологического строения ремней (гранитоидных структур) Восточного Казахстана, условий формирования редкометальных (в том числе REE) месторождений.

Количественное понимание механизмов минерализации редкоземельных элементов (РЗЭ), имеющих решающее значение для улучшения промышленного разделения, остается ограниченным. В этом исследовании в качестве модели природной минерализации РЗЭ используются 1239 точек данных гидротермального синтеза из материаловедческой науки. Мы обучили модели машинного обучения (KNN, RF, XG Boost), используя данные о прекурсорах, добавках и реакциях, для прогнозирования элементов и фаз продуктов, подтвердив прогнозы новыми экспериментами. Модель XG Boost показала наивысшую точность, при этом анализ важности признаков показал, что термодинамические свойства имеют решающее значение для прогнозов. Наблюдаемые корреляции между параметрами реакции соответствуют класси-

ческой теории кристаллизации. Кроме того, модели XG Boost успешно предсказали температуру реакции и PH на основе данных о прекурсорах/продуктах. Наши результаты демонстрируют междисциплинарную полезность данных материаловедческой науки для понимания геохимии, подчеркивают необходимость исследований менее изученных минералов РЗЭ (например, карбонатов, тяжелых РЗЭ) и предполагают потенциал для ускорения разработки ресурсов РЗЭ.

Следует отметить, что добыча и использование редкоземельных металлов играют ключевую роль не только внутри страны, но и в геополитическом пространстве. Развитие этого направления позволят не только отойти от сырьевой направленности, но и обеспечить устойчивое развитие обрабатывающей промышленности Казахстана на международном уровне. Авторы в статье «Редкоземельные металлы Казахстана: внешнеэкономическая политика и «ресурсное проклятие» пишут, чтобы конкурировать и стать одним из крупных игроков на международном рынке, необходимо использовать инновационные технологии и эффективные методы добычи этих ценных ресурсов [14]. Укрепление внешних связей на мировом рынке зависит от диверсификации экономики и увеличения экспортного потенциала редкоземельных металлов.

Результаты и обсуждение. Upstream: ресурсно-сырьевая база и геологические перспективы.

Систематизация отобранных исследований показывает, что наиболее плотная доказательная база по Казахстану сосредоточена прежде всего на upstream-звене –геологии, минералогии и первичном извлечении редких и редкоземельных элементов. Для Шу-баркольского месторождения продемонстрирован потенциал углей как альтернативного носителя редкоземельных элементов, что расширяет представления о возможной сырьевой базе за пределами классических рудных месторождений. Для Кундыбайского месторождения показаны перспективы выщелачивания РЗЭ из коры выветривания, а для Шок-Карагайского рудного поля - значимость GIS- и минерало-геохимических методов для пространственной визуализации, и оценки распределения элементов. Исследования по Восточному Казахстану также подтверждают, что формирование редкометальных и редкоземельных объектов имеет системный геологический потенциал, а не является набором изолированных кейсов. К upstream-сегменту следует отнести и недавнее официально подтвержденное выявление перспективного участка «Жаңа Қазақстан» в Карагандинской области. Однако с научной точки зрения важно подчеркнуть, что речь идет не о завершенной промышленной оценке запасов, а о прогнозных ресурсах и предварительных результатах геологоразведки, требующих дальнейшей верификации, технико-экономического обоснования и подтверждения извлекаемости. Это замечание принципиально, поскольку в отрасли критических минералов наличие перспективного объекта еще не означает автоматического формирования полноценной производственной цепочки.

Таким образом, для Казахстана можно констатировать наличие и расширение upstream-потенциала. Однако сама по себе ресурсная обеспеченность не устраняет системный разрыв между геологическим обнаружением ресурса и его превращением в высокотехнологичную продукцию. Следовательно, проблема развития отрасли смещается с вопроса «есть ли сырье?» к вопросу «какие звенья цепочки создают или блокируют добавленную стоимость?»

Midstream как ключевое ограничение полного цикла.

Именно midstream-звено является центральным узким местом развития отрасли. В мировой практике наибольшая доля добавленной стоимости формируется не на стадии первичной добычи, а на этапах разделения, очистки, химического преобразования, получения оксидов, солей, сплавов, прекурсоров и полуфабрикатов для высокотехнологичных производств. Поэтому страны, обладающие сырьем, но не контролирующие midstream-процессы, обычно остаются поставщиками концентратов или низко передельной продукции. Казахстанские исследова-

ния уже содержат важные заделы для midstream-сегмента: анализ выщелачивания и кинетики извлечения, сорбционные методы концентрирования, биоподготовка руд, а также современные обзоры по флотации, ионному обмену и экологическим аспектам разделения РЗЭ. Тем не менее обзор литературы показывает, что между лабораторными решениями и масштабируемой промышленной платформой сохраняется разрыв. В имеющихся исследованиях чаще рассматриваются отдельные стадии технологической цепочки, но существенно реже — интеграция технологического маршрута от руды к товарным соединениям требуемой чистоты и стандарта. Именно здесь подтверждается выдвинутая гипотеза исследования: ключевое ограничение Казахстана заключается не столько в отсутствии месторождений, сколько в недостаточном развитии глубокой переработки. Без индустриализации midstream-сегмента формирование «полного цикла» остается декларативным, даже при наличии благоприятной сырьевой базы и внешнего интереса со стороны международных партнеров.

В Казахстане имеются месторождения редкоземельных металлов – в Карагандинской, области Улытау, Северном Казахстане и некоторых других регионах. Совсем недавно было обнаружено новое крупное месторождение, названное «Жаңа Қазақстан» в Карагандинской области. В рамках государственной программы по изучению недр были проведены геологические исследования и открыты перспективные площади редкоземельных металлов. По данным Комитета геологии, этот участок может стать новым центром добычи стратегически важных металлов, на которые стремительно растет мировой спрос. Продовольственная, экологическая и экономическая безопасность должна обеспечиваться на основе развития зеленых технологий и чистых источников энергии. Альтернативные и стратегически важные источники являются основой, особенно в условиях глобальных кризисов. Так как уголь также является источником получения редкоземельных металлов, как утверждают авторы, то необходимо развивать эти направления, как с теоретической или научной, так и практической точки зрения. Согласно статистике 95% мировых рассыпных запасов редкоземельного «пирога» достались Китайской промышленности. Учитывая, что именно Китай производит наиболее высокотехнологичную продукцию, то использование в электронике, энергетике и электромашиностроении редкоземельные элементы, привели к значительному истощению запасов. Но мир увеличивает потребность, поэтому Китай, наращивая свои индустриальные обороты, находит новые альтернативные источники добычи и извлечения редкоземельных элементов.

В настоящее время Казахстан имеет базовые компетенции в сфере производства редких металлов. К примеру, одно из трех в мире бериллиевых (АО «УМЗ») и скандиевых (ТОО «Taza Metal Technologies») производств полного цикла, четырех танталониобиевых и рениевых (РГП «Жезказганредмет») находится в нашей стране. Казахстанский титан признан ведущими компаниями авиакосмической отрасли, автомобилестроения и занимает 11% доли мирового рынка и 21 % в авиакосмической отрасли. Также, при переработке цинкового концентрата ТОО «Казцинк» попутно извлекается висмут и сурьма, медного концентрата ТОО «Корпорация Казахмыс» - селен и теллурид меди. Также, на базе АО «Алюминий Казахстана» имеется технология по извлечению галлия из глинозема, на ТОО «Казцинк» - Индия из полиметаллического сырья. Придерживаясь многовекторной политики Казахстан в течение последних двух лет активно участвует в инициативах в сфере критических сырьевых минералов (КСМ) в рамках региональных форматов, а также на двустороннем уровне. Подтверждением этому служит подписание меморандумов и дорожных карт по стратегическому партнерству в сфере критических минеральных ресурсов с Европейским Союзом (ноябрь 2022 г.), Великобританией (март 2023 г.) и Францией (октябрь 2023 г.). С Соединенными Штатами Америки и Южной Кореей ведется работа в сфере геологического изучения проявлений КСМ. В декабре 2023 года утвержден Комплексный план развития отрасли редких и

редкоземельных металлов Казахстана на 2024–2028 гг., которые входят список критических сырьевых материалов. Более того, Казахстан в 2024 году стал полноправным членом Mineral Security Partnership (MSP) и готов внести посильный вклад в обеспечение безопасности глобальной цепочки поставок критических минералов и металлов. Для этого в стране имеются все необходимые предпосылки, включая диверсифицированную минерально-сырьевую базу, инфраструктуру, человеческий капитал и высокую компетенцию, а также развитую Midstream индустрию. Стоит подчеркнуть факт того, что Казахстан может обеспечить поставки 17 элемента из списка 50 видов критических сырьевых металлов США и 17 минералов из списка 34 критических сырьевых металлов Европейского союза. В целом, казахстанские предприятия производят такие критические металлы, как бериллий, титан, тантал, ниобий, рений, сурьма, висмут, селен, теллур в готовой форме первичного металла и в виде компонентов.

Критические сырьевые минералы (далее КСМ) –это полезные ископаемые с большим экономическим значением для экономики и технологий, также с высоким риском перебоев в их поставках из-за концентрации источников и отсутствия доступных заменителей. КСМ могут включать не только редкие и редкоземельные металлы (РЗМ), но и базовые металлы. Каждая технологически развитая страна имеет перечень особо востребованных металлов (КСМ). Редкоземельные металлы представляет группу из 17 элементов, включающая скандий, иттрий и лантаноиды (лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций). К базовым металлам относят группу металлов, которые играют ключевую роль в современной промышленности и экономике, обеспечивая основу для многих технологий и производств.

Таблица 3 - Информация по базовым металлам

Металл	**Запасы** *(млн. тонн)*	**Добыча** *(млн тонн)*	**Производство** *(тыс. тонн)*	**Доля KZ на рынке**	**Крупные производители**
Медь	36,5	149,2	417	3,9%	Казахмыс KAZ Minerals Казцинк
Алюминий	279	4,5	261	0,7%	ERG
Хром	315,9 *(руда)*	0,6	1 544 (ФХ)	-	
Марганец	643,4 *(руда)*	0,9	205 (ФСМ)	-	
Цинк	28,4	8,3	280	4,8%	Казцинк
Свинец	14,1		101	2,9%	
Никель	1,9	0	0	0%	-
Примечание: Данные получены из Отчета КП МПС, 2024					

Учитывая быстро растущие потребности автомобилестроения и альтернативной энергетики, в целях организации замкнутого цикла цепочки добавленной стоимости КСМ нами предлагается развитие отрасли в трех производственных секторах.

Производство батарейных материалов. Производство литий-ионных батарей. С 2021 по

2023 годы объем рынка литий-ионных батарей увеличился с 30 млрд долларов до 54 млрд долларов. К 2030 году прогнозируется увеличение в 2,7 раз (до 150 млрд долларов). Для производства литий-ионных батарей используются высокочистые прекурсоры лития, кобальта, никеля, марганца и графита. Для производства катодных материалов Казахстан располагает значимыми минеральными ресурсами, также целесообразно рассмотреть возможности организации импорта сырья. В первую очередь, необходимо объединить реализуемые проекты в один кластер для достижения дальнейших этапов добавленной стоимости в Казахстане.

Таблица 4 - Список КСМ в разных странах мира

Металлы\Страны	**США (50 минерал, 2022 г.)**	**ЕС (34 минерал, 2024 г.)**	**Британия (18 минерал, 2021 г.)**	**Канада (31 минерал, 2021 г.)**	**Австралия (24 минерал, 2019 г.)**
РЗМ	+	+	+	+	+
Литий	+	+	+	+	+
Графит	+	+	+	+	+
Тантал	+	+	+	+	+
Ниобий	+	+	+	+	+
Сурьма	+	+	+	+	+
Галлий	+	+	+	+	+
Магний	+	+	+	+	+
Ванадий	+	+	+	+	+
Кобальт	+	+	+	+	+
Никель	+	+	+	+	
Титан	+	+		+	+
Висмут	+	+	+		+
Вольфрам	+	+	+		+
Германий	+	+		+	+
Марганец	+	+		+	+
Платина/палладий		+	+	+	+
Олово	+		+	+	
Хром	+			+	+
Гафний	+	+			+
Теллур	+		+	+	
Индий	+			+	+
Плавиковый шпат	+	+		+	
Гелий		+		+	+
Алюминий/боксит	+	+		+	

Мышьяк	+	+			
Барит	+	+			
Бериллий	+	+			+
Цинк	+			+	
Цезий	+			+	
Молибден			+	+	
Медь		+		+	
Иридий	+				
Родий	+				
Рубидий	+				
Рутений	+				
Цирконий	+				
Стронций		+			
Фосфор		+			
Уран				+	
Рений					+
Кокс. уголь		+			
Борные руды		+			
Полевой шпат		+			
Примечание: Данные получены из Отчета КП МПС, 2024					

С текущего года на базе ТОО «Taza Metal Technologies» (г. Степногорск) выпускается один из прекурсоров-высокочистого моногидрата сульфата марганца. Мощность составляет 22,5 тыс. тонн HPMSM (5% мирового рынка). В качестве сырья используются ТМО месторождения Жезді. Продукция экспортируется в Марокко и Японию. С 2025 года планируется удвоить объем производства, что позволит контролировать 1/10 часть потребности мира. Есть дальнейшие планы по расширению. К 2026 году запланировано производство моногидрата железа фосфата (HPMFP) с объемом 50 тыс. тонн в год. У данного производства есть технологии выпуска высокочистых сульфатов никеля (HPNS) и кобальта (HPCS). Здесь рассматривается вовлечение существующих казахстанских месторождений кобальта и никеля, примерно в 2027 году.

На участке Куйректыколь активно проводились геологические исследования, на основе которых выделены перспективные зоны-Дос 1, Дос 2, Дос 3 и Иргиз, в пределах которых обнаружено девять рудных тел, насыщенных редкометалльной и редкоземельной минерализацией. На площадке «Жаңа Қазақстан» обнаружены большие запасы редких металлов общей площадью 134,6 квадратных километров, и в перспективе эти объемы могут стать эффективным объектом для промышленного освоения.

Министерство промышленности и строительства РК сообщает, что на участок выдана лицензия на разведку АО «Таукен-Самрук». В ближайшие годы компания проведет детальные геологоразведочные работы, включая бурение, лабораторный анализ и расчет запасов. Разведочный период рассчитан на шесть лет. Только после подтверждения запасов будет определена экономическая целесообразность проекта, вклю-

чая строительство инфраструктуры и создание предприятий по переработке редкоземельного сырья. Министерство также рассматривает возможность привлечения крупных международных партнеров. Это позволит обеспечить:

- трансферт технологий устойчивой добычи;

- совместные инвестиции и распределение рисков;

- долгосрочные оффтейк-контракты;

- ускоренное развитие производственной инфраструктуры.

В строй привлечь иностранных инвесторов планируется и потому, что технологии добычи и обогащения редкоземельных металлов сегодня в наибольшей степени развиты в США и Китае. Открытие месторождения «Жаңа Қазақстан» может стать толчком для формирования в стране полноценного редкоземельного кластера. Эти металлы -основа современной «зеленой» экономики. Без них невозможно производство аккумуляторов, электромобилей, ветровых и солнечных станций, смартфонов и высокотехнологичной электроники. Для Казахстана это шанс занять новую нишу на глобальном рынке и укрепить стратегическую независимость в сфере критически важных ресурсов. Министерство промышленности отмечает, что участок получил своё имя -«Жаңа Қазақстан» -от подрядной организации в знак начала нового этапа развития страны. Ранее сообщалось, что по итогам геологоразведочных работ впервые в Казахстане поставлены на учет пять месторождений: Кок-Жон (участок Болаттобе), Алтын-Шоко, Самомбет, Студенческий и Такыр-Кальджир.

Одно из крупнейших месторождений графита в мире-Сарытоган находится в Казахстане. Контракт на разведку № 5406-ТПИ с ТОО «Уштоган» (дочерняя компания австралийской Sarytogan Graphite Ltd) действует до 2025 года. Добычу графитовой руды планируется начать в 2026 году со строительством обогатительной фабрики с мощностью переработки 750 тыс. тонн руды в год. Продукт переработки-графитовый концентрат. Проект находится на стадии предварительного ТЭО. Также, инвестор намерен построить Завод по термической очистке концентрата, который будет выпускать микрокристаллический графит и различные виды сфероризированного графита, который применяется в щелочных, литий-ионных батареях.

Общий объем инвестиций оценивается на 300 млн долларов, в том числе ЕБРР-3 млн евро на развитие программы компании, включая подготовку технико-экономическое обоснование и пополнение оборотного капитала. Тем самым приобретает долю в компании Sarytogan Graphite Ltd-17,36% акций компании. Для выпуска гидроксида лития будет использовано отечественное сырье либо будет рассматриваться возможность импорта сырья. На литиевых месторождениях ведутся геологоразведочные работы с участием международных инвесторов и технологических партнеров (HMS Bergbau AG, KIGAM, LG Energy Solution, SK Ecoplant, Umicore).

Немецкой компанией Bergbau AG реализуются проекты по разработке литиевых месторождений с общей суммой инвестиций 500 млн долларов. В марте 2024 года Корейский институт геолого-геофизических исследований и минеральных ресурсов (KIGAM) обнаружил новое месторождение лития с содержанием 5,3% в Восточном Казахстане. Его стоимость может составить 15,7 млрд долларов. Таким образом, ввиду малоизученности рудных проявлений лития могут быть найдены гораздо больше запасов, чем доказанный объем балансовых запасов по РК, порядка 76 тыс. тонн. Успешная организация производства всех видов прекурсоров свыше 100 тыс. тонн в год закрепит позиции страны в Midstream сегменте, как крупнейшего производителя батарейных материалов в мире. Это создаст необходимые условия для организации выпуска самих аккумуляторов мировыми известными игроками в стране. Рециклинг и производство материалов деталей реактивных двигателей. Жаропрочные никелевые сплавы составляют 40–50% от общего веса авиационного двигателя. ЖНС могут включать такие металлы как молибден, тантал, рений, титан, вольфрам, кобальт, хром, алюминий, рутений, гафний и дру-

гие.

Мировой рынок реактивных авиадвигателей оценивается в 94,3 млрд долларов в 2023 году и ожидается, что он достигнет 187 млрд долларов к 2032 году, при среднегодовом темпе роста 7,92%. Основными мировыми игроками в сфере производства реактивных авиадвигателей являются: Pratt & Whitney (США), General Electric Aviation (США), SAFRAN (Франция) и Rolls-Royce (Великобритания). Из-за высоких расходов на техобслуживание реактивных двигателей (50 млрд долларов) и его восстановление (200 тысяч до 15 млн долларов) доступны условия для Казахстана занять собственную нишу в цепочке выпуска двигателей путем налаживания производства жаропрочные никелевые сплавы на основе рения, тантала, вольфрама, никеля и кобальта. С текущего года с применением отечественных и зарубежных знаний и разработок на базе РГП «Жезказганредмет» налажен рециклинг жаропрочных никелевых сплавов. Отечественные технологии позволяют переработать отработанные лопасти практически всех производителей реактивных авиадвигателей.

В настоящее время подписаны коммерческие контракты на сумму 2,5 млн долларов, согласно которым отечественное предприятие ежегодно будет перерабатывать 65 тонн лома жаропрочных никелевых сплавов. Расширить кластер рециклинга отработанных турбинных лопаток возможно с локализацией выплавки жаропрочных никелевых сплавов с добавлением рения на базе АО «УМЗ» совместно с компанией Alloyed (Великобритания). Компания Alloyed предоставляет на выбор две технологии: традиционный метод получения литья и современный метод послойного синтеза, известный также как аддитивное производство или 3D принтинг.

Следует отметить, что редкие металлы встречаются в земных недрах в незначительных количествах, являются трудноизвлекаемыми, поэтому их добыча и переработка достаточно сложные и капиталоемкие процессы. К ним относятся литий, бериллий, ниобий, тантал, индий, галлий, германий. Эти металлы имеют высокую ценность в области космической промышленности, атомной энергетике, авиа и ракетостроении, поэтому их добыча, переработка и получение готовой продукции для применения является архиважной задачей.

Таблица 5 - Особенности редких и редкоземельных металлов

Критерий	Редкие металлы	Редкоземельные металлы
Объём группы	Широкая	Узкая (17 элементов)
Статус	Общая категория	Подгруппа
Сложность добычи	Высокая	Очень высокая
Применение	Промышленность	Высокие технологии

К редкоземельным металлам относят подгруппу редких металлов с магнитными свойствами, а также имеют электрические и оптические характеристики элементов. Они также трудноизвлекаемые, к тому же трудно разделяемые и очищаемые. К ним относятся: Лантан, Церий, Празеодим, Неодим, Прометий, Самарий, Европий, Гадолиний, Тербий, Диспрозий, Гольмий, Эрбий, Тулий, Иттербий, Лютеций, Скандий, Иттрий, то есть 15 видов лантаноидов плюс скандий (Sc) и иттрий (Y). Являясь мощными магнетиками, редкоземельные металлы будут применяться успешно в лазерном и оптическом производстве, аккумуляторных и катализаторных продуктах, электронике и оборонной промышленности. В условиях технологического развития и перехода к цифровой и низкоуглеродной экономике изучение данных металлов приобретает особую значимость.

Downstream и рециклинг: где формируется

стратегическая добавленная стоимость

Downstream-звено представляет собой ту часть цепочки, где редкие и редкоземельные элементы превращаются в функциональные материалы и конечные изделия: постоянные магниты, специальные сплавы, катализаторы, полировальные материалы, оптические компоненты, элементы электроники и оборудования для энергетического перехода. Современные исследования показывают, что именно сегмент постоянных магнитов становится наиболее стратегическим, поскольку он связывает РЗЭ с электромобилями, ветрогенераторами, электрическими машинами и силовыми приводами. Для Казахстана downstream-направление пока является наиболее слабым звеном. Имеющиеся металлургические компетенции и отдельные производства создают важный институциональный старт, однако масштабной индустриальной экосистемы по выпуску магнитов, функциональных порошков и сложных материалов пока не сформировано. Особенно показательным является европейский опыт: даже при высоком технологическом уровне ЕС по-прежнему сталкивается с барьерами при построении замкнутых цепочек РЗЭ, включая сбор отходов, переработку магнитов, стандартизацию и организацию спроса на вторичное сырье. В этих условиях более реалистичным для Казахстана является не буквальное стремление локализовать все downstream-сегменты одновременно, а выбор нескольких продуктовых ниш с наибольшим сочетанием технологической достижимости, экспортной перспективности и синергии с существующей металлургической базой. Такой подход позволяет интерпретировать «полный цикл» не как тотальную самодостаточность, а как поэтапное наращивание тех звеньев, где страна способна создавать устойчивую добавленную стоимость.

Сравнительный анализ Казахстана, Китая и Европейского союза.

Сравнительный анализ Казахстана, Китая и Европейского союза позволяет точнее определить стратегическое положение страны. Китай сохраняет наиболее интегрированную модель развития отрасли: от добычи и разделения до производства магнитов и использования РЗЭ в промышленной продукции. Его преимущество заключается не только в масштабах добычи, но и в исторически сформированной промышленной координации между upstream-, midstream- и downstream-сегментами [15,16].

Таблица 6 - Цепочка добавленной стоимости РМ/РЗЭ и позиционирование Казахстана

Звено	Содержание	Текущее состояние в Казахстане	Ключевые ограничения	Приоритетные направления
Upstream	Геологоразведка, оценка ресурсов, добыча, первичное обогащение	Наличие перспективных объектов и научных исследований по месторождениям и альтернативным источникам	Неравномерная подтвержденность запасов; разрыв между выявлением объекта и промышленной оценкой	Ускорение геологоразведки, стандартизация оценки, технологические тесты извлекаемости

Midstream	Разделение РЗЭ, химическая очистка, получение оксидов, солей, сплавов и прекурсоров	Научные заделы и лабораторные решения имеются, но индустриальная масштабируемость ограничена	Главное узкое место отрасли; зависимость от внешних технологий и мощностей глубокой переработки	Создание пилотных и промышленных мощностей по разделению и химико-металлургической переработке
Downstream	Постоянные магниты, функциональные порошки, специальные сплавы, катализаторы, компоненты для энергетики и электроники	Фрагментарные компетенции без развернутой промышленной экосистемы	Высокий технологический порог входа; ограниченный внутренний спрос; нехватка стандартизации и кооперации	Селективная локализация нескольких ниш с высокой добавленной стоимостью
Примечание: Разработано авторами на основе аналитического исследования				

Таблица 7 – Сравнение позиционирования Казахстана, Китая и ЕС в цепочке стоимости РМ/РЗЭ

Критерий	Казахстан	Китай	Европейский союз
Ресурсная база	Перспективная, но по ряду объектов требует дополнительной верификации	Широкая и давно вовлеченная в промышленный оборот	Ограниченная, компенсируется внешними партнерствами
Глубина переработки (midstream)	Ограниченная; ключевое узкое место	Высокая степень интеграции и промышленной концентрации	Целенаправленно наращивается через industrial policy и переработку
Downstream-продукция	Селективные компетенции, но нет масштабной экосистемы РЗЭ-материалов	Развитое производство магнитов, материалов и компонентов	Сильные технологические компании, но сохраняется зависимость по отдельным звеньям
Рециклинг и циркулярность	Формируется на концептуальном и пилотном уровне	Развивается, но уступает первичной переработке по масштабу	Активно институционализируется как часть CRMA и циркулярной экономики
Государственная политика	На стадии консолидации планов, партнерств и отраслевых приоритетов	Долгосрочная координация между добычей, переработкой и промышленностью	Регуляторно ускоряемая локализация критических звеньев цепочки
Стратегический вывод для Казахстана	Нужна смешанная модель: ресурсная опора + ускорение midstream + селективный downstream + рециклинг	-	-

Европейский союз, напротив, обладает более ограниченной ресурсной базой, но активно компенсирует это через промышленную политику, нормативное регулирование, поддержку переработки и международные партнерства. Принятие Critical Raw Materials Act закрепляет логику диверсификации и локализации критически значимых стадий цепочки, включая добычу, переработку и рециклинг. В этом смысле ЕС демонстрирует модель институционально ускоряемого развития отрасли даже при внешней зависимости от части сырья [17,18].

Казахстан занимает промежуточное положение. С одной стороны, страна имеет более благоприятную ресурсную позицию, чем ЕС, и уже вовлечена в международные партнерства по критическим минералам. С другой стороны, по глубине переработки и выпуску высокотехнологичной продукции Казахстан существенно уступает Китаю и не располагает столь же развернутой регуляторно-индустриальной архитектурой, как ЕС. Следовательно, для Казахстана наиболее рациональна смешанная модель: опора на собственную сырьевую базу, ускоренное развитие midstream, селективное формирование downstream и расширение рециклинга.

Таблица 8 - Сценарии развития отрасли редких и редкоземельных металлов Казахстана

Сценарий	Содержание	ДС (1-3)	ТС (1-3)	ВЗ (1-3)	Краткая интерпретация
Инерционный (сырьевой)	Экспорт концентратов и низкопередельной продукции	1	1	3	Минимальные краткосрочные инвестиции, но слабая технологическая суверенность
Индустриализация midstream	Разделение, очистка и выпуск оксидов / солей / полуфабрикатов	2	2	2	Наиболее рациональный среднесрочный этап усиления внутренней добавленной стоимости
Селективно-полный цикл	Midstream + ограниченный downstream + рециклинг	3	3	1–2	Наиболее сложный, но стратегически предпочтительный долгосрочный сценарий
Таблица представляет авторскую аналитическую интерпретацию на основе результатов обзора литературы. 1 — низкое значение; 2 — среднее; 3 — высокое значение. ДС — Добавленная Стоимость, ТС — Технологическая Сложность, ВЗ — Внешняя Зависимость					

Экономическая модель развития отрасли и сценарии для Казахстана.

На основе проведенного обзора предлагается экономическая модель селективно-полного производственного цикла. Ее логика состоит в том, что при ограниченных ресурсах государства и бизнеса необходимо концентрироваться не на максимальном охвате всех возможных переделов, а на приоритетных звеньях, где одновременно присутствуют:

а) подтверждаемый ресурсный потенциал;

б) технологическая достижимость;

в) существующие металлургические компетенции;

г) прогнозируемый спрос со стороны мировых цепочек поставок.

В практическом выражении модель включает три фазы.

Первая фаза-ресурсно-технологическая: ускорение геологоразведки, стандартизация оценки ресурсов, пилотные технологические испытания и формирование базы данных по технологическим маршрутам переработки.

Вторая фаза-индустриализация midstream: создание мощностей по разделению, очистке и выпуску оксидов, солей и полуфабрикатов батарейного и магнитного назначения.

Третья фаза-селективный downstream и рециклинг: локализация наиболее перспективных продуктовых ниш, прежде всего магнитных материалов, специальных сплавов и вторичной переработки РЗЭ-содержащих отходов.

Сценарный анализ показывает, что инерционный путь с сохранением сырьевой специализации обеспечивает наименьшую внутреннюю добавленную стоимость и усиливает внешнюю зависимость. Сценарий индустриализации midstream создает более устойчивую промышленную основу и повышает экспортную позицию страны. Наиболее сложным, но и наиболее перспективным выступает сценарий селективно-полного цикла, при котором формирование downstream сочетается с развитием рециклинга и международных партнерств по технологиям. Именно этот сценарий в долгосрочной перспективе способен обеспечить Казахстану устойчивое место в глобальной архитектуре критических минералов.

Выводы. Проведенный систематизированный обзор показывает, что проблема развития отрасли редких и редкоземельных металлов Казахстана заключается не в отсутствии исследовательского интереса или потенциальной ресурсной базы, а в недостаточной связности отдельных звеньев цепочки добавленной стоимости. На основании корпуса из 32 источников установлено, что отечественная научная база наиболее развита в части геологии, минералогии и отдельных технологий извлечения, тогда как вопросы масштабируемого разделения, глубокой переработки и выпуска функциональных материалов остаются существенно менее проработанными.

Гипотеза исследования получила подтверждение: ключевым ограничением формирования полного производственного цикла в Казахстане выступает не столько upstream-сегмент, сколько дефицит midstream- и downstream-компетенций. Следовательно, дискуссия о «полном цикле» должна быть смещена с декларативного уровня на уровень конкретных индустриальных связок: ресурс-технология разделения-химическая переработка-функциональный материал-рециклинг.

Сравнение Казахстана с Китаем и Европейским союзом показывает, что наиболее реалистичной стратегией является смешанная модель селективной индустриализации. Она предполагает использование собственных ресурсных преимуществ, ускоренное наращивание глубокой переработки, развитие ограниченного числа downstream-направлений и опору на международные технологические партнерства без закрепления роли страны как исключительно сырьевого поставщика.

Практическая значимость результатов состоит в обосновании поэтапной модели развития отрасли: от усиления геологоразведки и пилотных технологий к индустриализации midstream и затем к локализации наиболее перспективных downstream-ниш. Такой подход может быть использован при корректировке отраслевой политики, разработке технологических дорожных карт и выборе инвестиционных приоритетов в сфере критических минералов. Перспективы дальнейших исследований связаны с построением количественных технико-экономических моделей отдельных производственных цепочек в Казахстане, оценкой экспортных ниш по группам металлов, а также с анализом экологических ограничений и институциональных условий рециклинга редких и редкоземельных элементов.

Цепочка производства постоянных магнитов.

Редкоземельные металлы широко применяются (20% рынка РЗМ) в производстве устойчивых редкоземельных магнитов, являющихся важной частью радаров и всех видов коммуникационных систем. Они незаменимы в актуаторах, применяемых в ракетных системах, спутниках и системах авиационного контроля. На сегодняшний день самым мощным из постоянных магнитов являются неодимовые магниты. К сравнению, если коэрцитивная сила самарий-кобальтовых магнитов приравнивается к 26, то в неодимовых магнитах доходит с 35 до 52 МГО (мега-гаусс-орштедт). Неодим железо-боровые

магниты (Nd Fe B магниты) изготовлены из сплава, состоящего в основном из неодима (29-32%), железа (64–68%) и бора (1-1.2%). Также, содержится: Al (0.2–0.4%), Nb (0.5-1%), Dy (0.8-1.2%). На базе РГП «Жезказганредмет» имеется возможность рециклинга постоянных магнитов. В этой связи прорабатывается сотрудничество с Ionic Rare Earths (Австралия) по передаче технологии с дальнейшим созданием совместного предприятия. В настоящее время соглашение о конфиденциальности NDA по передаче технологий согласован и находится на подписании у Ionic Rare Earths.

В настоящее время получено 10 кг магнитов для опытно-лабораторных испытаний для апробирования технологии на ЖРМ. Однако, для реализации указанных процессов и выполнения международных обязательств по контрактам на переработку лома редких металлов Жезказганредмет требуется закупить специальное оборудование. При успешной реализации проектов Казахстан сможет восстановить компетенцию полного цикла производства РЗМ с извлечением оксидов неодима, празеодима и диспрозия.

Из выполненного обзора можно заключить, что в настоящее время правительство уделяет пристальное внимание добыче и производству редкоземельных металлов. Изучив публикации отечественных и зарубежных ученых, а также проводимые исследования, можно отметить, что в Казахстане активно развивается направление по оценке не только традиционных и известных способов выделения редкоземельных элементов, но и нетрадиционные виды выветривания руды (Шубарколь, Кундыбай), адсорбционные методы (Шок-Карагай), а также проявляется интерес к новейшим видам уникальных технологий. К ним можно отнести более экологичные и Smart методы, такие как биологическая просушка, машинное обучение для прогноза минерализации, переработка отходов, что соответствует общемировым трендам и технологическому спросу. Правительство считает, что в перспективе обрабатывающая промышленность должна развиваться за счет производства редких и редкоземельных металлов. Казахстан целенаправленно планирует развивать и повышать долю зеленой энергии до 15% к 2030 году. Для этого необходимо увеличить коэффициент локализации на внутреннем рынке, производить солнечные панели и ветровые турбины. И развитие перспективного сектора для Казахстана-это «новая нефть XXI века» или редкие и редкоземельные металлы для приоритетных отраслей обрабатывающей и перерабатывающей отраслей.

Следует отметить, что глобальные тренды в индустриальном секторе направлены на цифровые и электронные технологии, поэтому спрос на критические минералы особенно повышен и Казахстан способен обеспечить за счет богатых залежей руд в недрах. Необходимо совершенствовать технологии по добыче и выделению редкоземельных металлов из руд и вкладывать качественные инвестиции.

Финансирование. *Исследование выполнено в рамках проекта* ***ИРН BR24992789*** *“Разработка стратегии ускоренной технологической диверсификации и новой промышленной политики Казахстана».*

Литература

1. Ghorbani Y., Ilankoon I.M.S.K., Dushyantha N., Nwaila G.T. Rare earth permanent magnets for the green energy transition: Bottlenecks, current developments and cleaner production solutions//Resources, Conservation and Recycling. -2025. -Vol.212: 107966. DOI 10.1016/j.resconrec.2024.107966.

2. Popa D.-C., Szabó L. Securing Rare Earth Permanent Magnet Needs for Sustainable Energy Initiatives // Materials. -2024. -Vol.17(22): 5442. DOI 10.3390/ma17225442.

3. Popa D.-C., Szabó L. Overcoming Catch-22 for rare earth metals in green transition: Solutions in electrical machine manufacturing //Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2025. -Vol.207: 114917. DOI 10.1016/j.rser.2024.114917.

4. International Energy Agency. Global Critical Minerals Outlook 2025. aris: IEA, 2025. – URL: -Дата обращения: 21.05.2025

5. Liu S.-L., Fan H.-R., Liu X., et al. Global rare earth elements projects: New developments and supply chains//Ore Geology Reviews. -2023.-Vol.157:105428. DOI 10.1016/j.oregeorev.2023.105428.

6. Blyalova G., Amangeldykyzy A., Kopobayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. A Comprehensive Study of the Spatial Variations in the Distribution of Rare Earth Elements (REE) and Their Potential in the Coals of the Shubarkol Deposit, Kazakhstan//Minerals. -2025.-Vol.15(2):170. DOI 10.3390/min15020170.

7. Tokpayev R., Khavaza T., Ibraimov Z., Zhaksybay B., Ciorita A., Kishibayev K., Zlobina E., Nauryzbayev M. Investigation and Kinetic Analysis of Rare Earth Elements Leaching: Case Study of the Weathering Crust of the Kundybay Deposit (Northern Kazakhstan)//Minerals. -2025. -Vol.15(5): 444. DOI 10.3390/min15050444.

8. Togizov K., Issayeva L., Muratkhanov D., Kurmangazhina M., Swęd M., Duczmal-Czernikiewicz A. Rare Earth Elements in the Shok-Karagay Ore Fields (Syrymbet Ore District, Northern Kazakhstan) and Visualisation of the Deposits Using the Geographic Information System // Minerals. -2023. -Vol.13(11): 1458. DOI 10.3390/min13111458.

9. Dyachkov B.A., Oitseva T.A., Zimanovskaya N.A., Bissatova A.Y., Agalieva B.B., Ageeva O.V. East Kazakhstan Rare Earths Deposits Formation // Aspects in Mining & Mineral Science. -2021. -Vol.7(1). -P.785-786. DOI 10.31031/AMMS.2021.07.000655.

10. Мурзакасымова Н.С., Бектенов Н.А., Гавриленко М. А. Сорбция редкоземельных металлов: литературный обзор. – Химический журнал Казахстана. -2020. - №3 (71). - С.214-235.

11. Rezaei M., Sanchez-Lecuona G., Abdolazimi O. A Cross-Disciplinary Review of Rare Earth Elements: Deposit Types, Mineralogy, Machine Learning, Environmental Impact and Recycling // Minerals. -2025. -Vol. 15(7): 720. DOI 10.3390/min15070720.

12. Bayarbayasgalan A., Amarsanaa D., Batchuluun B., et al. Enhanced Recovery of Rare Earth Elements from Carbonatite Ore by Biological Pretreatment // RSC Advances. -2025. -Vol.15(6): 4628-4635. DOI 10.1039/D4RA07845D.

13. Туманшиев Д.А., Исова Л.Т, Жұмақанов Ә. Қазақстанның сирек кездесетін металдары: сыртқы экономикалық саясат. - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. - 2025.- № 2(151). - Б.54-67. DOI 10.32523/2616-6887-2025-151-2-54-67.

14. Julapong P., Numprasanthai A., Tangwattananukul L., et al. Rare Earth Elements Recovery from Primary and Secondary Resources Using Flotation: A Systematic Review//Applied Sciences. -2023. -Vol.13(14): 8364. DOI 10.3390/app13148364.

15. Pathapati S.V.S.H., Free M.L., Sarswat P.K. A Comparative Study on Recent Developments for Individual Rare Earth Elements Separation//Processes. -2023.-Vol.11(7):2070. DOI 10.3390/pr11072070.

16. Rizos V., Righetti E., Kassab A. Understanding the barriers to recycling critical raw materials for energy transition: The case of rare earth permanent magnets // Energy Reports. -2024. -Vol.12: 1673-1682. DOI 10.1016/j.egyr.2024.07.022.

17. Taglieri L., Fratocchi L. Made in Europe Recovery of Rare Earth Elements: Is a Circular and Sustainable Value Chain Really Possible? // IFAC-PapersOnLine. -2025. -Vol.59(10): 1510-1515. DOI 10.1016/j.ifacol.2025.09.254.

18. El Ouardi Y., Virolainen S., Mouele E.S.M., et al. The recent progress of ion exchange for the separation of rare earths from secondary resources: A review// Hydrometallurgy. -2023. -Vol.218: 106047. DOI 10.1016/j.hydromet.2023.106047.

References

1. Ghorbani Y., Ilankoon I.M.S.K., Dushyantha N., Nwaila G.T. Rare earth permanent magnets for the green energy transition: Bottlenecks, current developments and cleaner production solutions//Resources, Conservation and Recycling. -2025. -Vol.212: 107966. DOI 10.1016/j.resconrec.2024.107966.

2. Popa D.-C., Szabó L. Securing Rare Earth Permanent Magnet Needs for Sustainable Energy Initiatives // Materials. -2024. -Vol.17(22): 5442. DOI 10.3390/ma17225442.

3. Popa D.-C., Szabó L. Overcoming Catch-22 for rare earth metals in green transition: Solutions in electrical machine manufacturing //Renewable and Sustainable Energy Reviews. -2025. -Vol.207: 114917. DOI 10.1016/j.rser.2024.114917.

4. International Energy Agency. Global Critical Minerals Outlook 2025. aris: IEA, 2025. – URL: - Data obrashhenija: 21.05.20255.

5. Liu S.-L., Fan H.-R., Liu X., et al. Global rare earth elements projects: New developments and supply chains//Ore Geology Reviews. -2023.-Vol.157:105428. DOI 10.1016/j.oregeorev.2023.105428.

6. Blyalova G., Amangeldykyzy A., Kopobayeva A., Zhirkov V., Ryzhkov S. A Comprehensive Study of the Spatial Variations in the Distribution of Rare Earth Elements (REE) and Their Potential in the Coals of the Shubarkol Deposit, Kazakhstan//Minerals. -2025.-Vol.15(2):170. DOI 10.3390/min15020170.

7. Tokpayev R., Khavaza T., Ibraimov Z., Zhaksybay B., Ciorita A., Kishibayev K., Zlobina E., Nauryzbayev M. Investigation and Kinetic Analysis of Rare Earth Elements Leaching: Case Study of the Weathering Crust of the Kundybay Deposit (Northern Kazakhstan)//Minerals. -2025. -Vol.15(5): 444. DOI 10.3390/min15050444.

8. Togizov K., Issayeva L., Muratkhanov D., Kurmangazhina M., Swęd M., Duczmal-Czernikiewicz A. Rare Earth Elements in the Shok-Karagay Ore Fields (Syrymbet Ore District, Northern Kazakhstan) and Visualisation of the Deposits Using the Geographic Information System // Minerals. -2023. -Vol.13(11): 1458. DOI 10.3390/min13111458.

9. Dyachkov B.A., Oitseva T.A., Zimanovskaya N.A., Bissatova A.Y., Agalieva B.B., Ageeva O.V. East Kazakhstan Rare Earths Deposits Formation // Aspects in Mining & Mineral Science. -2021. -Vol.7(1). -P.785-786. DOI 10.31031/AMMS.2021.07.000655.

10. Murzakasymova N.S., Bektenov N.A., Gavrilenko M. A. Sorbcija redkozemel' nyh metallov: literaturnyj obzor. – Himicheskij zhurnal Kazahstana. -2020. - №3 (71). - S.214-235.[in Russian]

11. Rezaei M., Sanchez-Lecuona G., Abdolazimi O. A Cross-Disciplinary Review of Rare Earth Elements: Deposit Types, Mineralogy, Machine Learning, Environmental Impact and Recycling // Minerals. -2025. -Vol. 15(7): 720. DOI 10.3390/min15070720.

12. Bayarbayasgalan A., Amarsanaa D., Batchuluun B., et al. Enhanced Recovery of Rare Earth Elements from Carbonatite Ore by Biological Pretreatment // RSC Advances. -2025. -Vol.15(6): 4628-4635. DOI 10.1039/D4RA07845D.

13. Tumanshiev D.A., Isova L.T, Zhұmaқanov Ә. Қazaқstannyң sirek kezdesetin metaldary: syrtқy jekonomikalyқ sajasat. - L.N. Gumilev atyndaғy Eurazija ұlttyқ universitetinің habarshysy. - 2025.- № 2(151). - B.54-67. DOI 10.32523/2616-6887-2025-151-2-54-67. [in In Kazakh]

14. Julapong P., Numprasanthai A., Tangwattananukul L., et al. Rare Earth Elements Recovery from Primary and Secondary Resources Using Flotation: A Systematic Review//Applied Sciences. -2023. -Vol.13(14): 8364. DOI 10.3390/app13148364.

15. Pathapati S.V.S.H., Free M.L., Sarswat P.K. A Comparative Study on Recent Developments for Individual Rare Earth Elements Separation//Processes. -2023.-Vol.11(7):2070. DOI 10.3390/pr11072070.

16. Rizos V., Righetti E., Kassab A. Understanding the barriers to recycling critical raw materials for energy transition: The case of rare earth permanent magnets // Energy Reports. -2024. -Vol.12: 1673-1682. DOI 10.1016/j.egyr.2024.07.022.

17. Taglieri L., Fratocchi L. Made in Europe Recovery of Rare Earth Elements: Is a Circular and Sustainable Value Chain Really Possible? // IFAC-PapersOnLine. -2025. -Vol.59(10): 1510-1515. DOI 10.1016/j.ifacol.2025.09.254.

18. El Ouardi Y., Virolainen S., Mouele E.S.M., et al. The recent progress of ion exchange for the separation of rare earths from secondary resources: A review// Hydrometallurgy. -2023. -Vol.218: 106047. DOI 10.1016/j.hydromet.2023.106047.

Сведения об авторах

Тайкулакова Г.- кандидат экономических наук, профессор Школы Экономики и Финансов, Алматы Менеджмент Университета, г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: gulnuratgs@mail.ru;

Баядилова Л.- магистр экономических наук Школы Экономики и Финансов, Алматы Менеджмент Университета, г.Алматы, Республика Казахстан, e-mail: loribayadilova@gmail.com;

Андаков М. - магистр экономических наук, эксперт по обрабатывающей промышленности ГП ПЦФ, e-mail: m.andakov@mps.gov.kz.

Information about authors

G.Taikulakova -candidate of economic sciences, professor of the School of Economics and Finance, Almaty Management University, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulnuratgs@mail.ru;

L. Bayadilova- master economic sciences, School of Economics and Finance, Almaty Management University, Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: loribayadilova@gmail.com;

M. Andakov, Master of Economics, Manufacturing Industry Expert, Participant of the Grant Project for Program-Targeted Financing, e-mail: m.andakov@mps.gov.kz.