Вторичная (техногенная) ресурсная база критических минералов центральной Азии в условиях углеродного регулирования: cbam как драйвер низкоуглеродной переработки

Машина Анастасия Дмитриевна
магистрант, экономический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, mashinaanastasiya@rambler.ru

В статье предложена концептуальная рамка, которая связывает формирование вторичной (техногенной) ресурсной базы критических минералов Центральной Азии с логикой трансграничного углеродного регулирования Европейского союза (CBAM). Показано, что критические минералы (литий, редкоземельные элементы, вольфрам, сурьма, медь) в настоящее время не входят в товарный охват CBAM. Тем не менее, продукты их передела (прежде всего металлы) уже частично затрагиваются механизмом, а траектория расширения регулирования делает углеродоемкость переработки значимым фактором конкурентоспособности в среднесрочной перспективе. Обосновано, что переработка техногенного сырья (хвостохранилищ, отходов обогащения, вторичного лома) обеспечивает существенно более низкий углеродный след в сравнении с первичной добычей и потому формирует стратегическое окно для локализации низкоуглеродных переделов в регионе. Предложен гибридный аналитический подход, который объединил в себе экономико-стратегическую (модернизация цепочек создания стоимости, инвестиционное окно) и институциональную (согласование стандартов углеродного учета, риски асимметричной зависимости) перспективы. Сформулированы направления промышленной и внешнеэкономической политики.

Ключевые слова: критические минералы, вторичные ресурсы, техногенное сырье, углеродное регулирование, CBAM, Центральная Азия, низкоуглеродная переработка, цепочки создания стоимости.

Введение

Энергопереход сделал критические минералы одной из опор экономической безопасности. Литий, кобальт, никель, редкоземельные металлы, вольфрам, сурьма, медь – они необходимы для изготовления батарей, постоянных магнитов, электросетей и продукции оборонного назначения. Однако наблюдается вполне конкретная сложность: и добыча, и особенно переработка осуществляются на территории достаточно малого числа стран, и вокруг этого растет геоэкономическое напряжение [14; 16]. Тогда же Евросоюз ввел механизм трансграничного углеродного регулирования (CBAM): он переносит углеродные издержки на импорт, и уровень углеродоемкости производства превращается в условие допуска на рынок [19]. Декарбонизацию российской экономики и переход к низкоуглеродной модели в отечественной литературе разобрали уже довольно обстоятельно [4; 5], как и влияние CBAM на сырьевой экспорт и отношения с ЕС [2; 3]. А вот критические минералы и их вторичная база из этой дискуссии пока остаются на второстепенных ролях.

Конкуренцию за критические минералы и рост углеродного регулирования обычно обсуждают как два отдельных дискуссионных вопроса. Идет диалог о первичной добыче, о том, кому принадлежат месторождения. Техногенная ресурсная база (хвостохранилища, отходы обогащения, металлургические шлаки, вторичный лом) остается на периферии анализа, хотя именно в ней скрыт немалый потенциал. Кроме того, наблюдается сильное различие в углеродном следе.

Центральная Азия является показательным примером. Запасы критических минералов на территории крупные, но рядом с ними со времен СССР лежат колоссальные объемы техногенных отходов. При этом роль региона в мировых цепочках поставок сейчас подвергается пересмотру на фоне того, как за него борются внешние игроки [18; 22]. Останется ли он сырьевым придатком или поднимется по цепочке стоимости за счет собственной переработки – вопрос стратегический.

Задача работы состояла в том, чтобы построить концептуальную схему, которая свяжет два элемента: развитие вторичной базы критических минералов региона и логику углеродного регулирования. И тем самым показать, в какой конкретный момент CBAM начинает подталкивать к низкоуглеродной переработке, а в какой – нет. Работа концептуальная, и ее целью было собрать воедино уже работающие механизмы и определить, в каком направлении следует развивать исследования и какие действительные политические меры применять. Вопрос рассматривается сразу с двух сторон: экономико-стратегической и институциональной.

Исследовательский вопрос работы напрямую связан с повесткой устойчивого развития. Вовлечение техногенных отходов в переработку отнесено к ЦУР № 12: ответственное потребление, сокращение образования отходов. Фиксирование низкоуглеродных переделов в самом регионе – ЦУР № 9: своя промышленная инфраструктура, обновленные отрасли. Это подчеркивает важность того, что переработку вторсырья не стоит мерить узкоотраслевой меркой; она является частью большого курса на устойчивое развитие региона.

Методы и данные

Методологически работа опирается на концептуальный анализ и институциональный подход. Эмпирическую основу составляют нормативные документы ЕС (регламенты о CBAM и о критическом сырье), доклады и обзоры международных организаций (ОЭСР, МЭА), а также рецензируемые публикации 2020–2026 гг. и отраслевая статистика. Количественные оценки носят иллюстративный характер и служат для демонстрации порядка величин, а не точного прогноза. Такой дизайн соответствует задаче работы – выстроить аналитическую рамку и очертить направления дальнейших эмпирических исследований.

1. Вторичная ресурсная база и углеродное регулирование: концептуальная рамка

Что понимается под вторичной, техногенной базой? Это совокупность материальных накоплений, образованных в результате хозяйственной деятельности человека, которые потенциально пригодны для повторного использования – в качестве сырья, материалов, энергии или для других производственных целей. Разница с обычным месторождением принципиальная – сырье уже наверху и частично подготовлено, и на первое дробление энергии тратится гораздо меньше. Следовательно, меняется и весь углеродный след передела. В отечественной литературе на нее смотрят как на актив с двойной выгодой: добыча ресурса и улучшение экологической обстановки [6; 8].

Главный тезис работы: вторсырье дает куда меньше парниковых выбросов, чем производство из первичной руды. По оценкам Международного Энергетического Агентства (МЭА), получение переходных минералов (лития, никеля, кобальта) из вторичных источников сопровождается примерно на 80% меньшими выбросами, чем из первичного сырья [13]. По ряду металлов рециклинг в разы менее энергоемок, а к 2050 году он способен сократить

потребность в новых рудниках на 25–40% по отдельным позициям [13]. Этот разрыв в углеродном следе и делает вторичную базу ценной в условиях углеродного регулирования; порядок величин по металлам – в таблице 1. Однако стоит отметить, что безусловным это преимущество не является. Бедное, тонковкрапленное сырье приходится мелко измельчать, что энергоемко; биовыщелачивание и прочие методы извлечения также сопряжены с выбросами. Так что действительный выигрыш из раза в раз упирается в конкретную технологию и состав сырья.

Как же устроен сам механизм CBAM? Импортер платит за углеродную часть товара по удельным выбросам, за вычетом той углеродной цены, что уже внесли в стране происхождения [19]. Круг товаров на данном этапе достаточно ограничен: цемент, электроэнергия, удобрения, черные металлы, алюминий, водород. Критических минералов – лития, РЗМ, вольфрама, сурьмы – в этом списке нет. Однако продукты их передела уже частично затронуты через категории черных металлов и алюминия – прежде всего ферросплавы (подробнее – в разделе 2) и этот список расширяется дальше. Ведется обсуждение включения следующих переделов [18, ст. 30], а значит, углеродоемкость переработки станет важной уже в среднесрочной перспективе. ЕС при этом отдельно стимулирует спрос на вторичное сырье: регламент о критическом сырье прописывает ориентир не менее 25% годового потребления стратегического сырья к 2030 г. за счет мощностей рециклинга внутри ЕС [20]. В 2023–2025 гг. от импортеров ждали только отчетность по выбросам; с 2026 г. подключаются финансовые обязательства [21]. И снова через черные металлы с алюминием в охват попадают продукты передела части критических минералов. Отсюда и косвенная связка CBAM с минеральными цепочками. При этом механизм продолжает активно донастраиваться: регламент (ЕС) 2025/2083 от 8 октября 2025 г. упрощает и одновременно усиливает CBAM [21], что подтверждает динамический характер регулирования и обоснованность опережающего, сценарного подхода.

Здесь – важная оговорка, без нее легко переоценить картину: напрямую на большинство критических минералов CBAM сегодня почти не оказывает давления. Поэтому и смотреть на вопрос нужно сценарно, на опережение: если регулирование доберется до минеральных цепочек, выиграют те страны, что выстроили низкоуглеродные переделы заранее. А вторичная база – самый очевидный способ снизить удельный углеродный след, не сокращая выпуск.

Таблица 1

Сопоставление углеродоемкости первичного и вторичного производства отдельных металлов

Металл	Первичное производство	Вторичное производство	Эффект
Медь	~4,1 т CO_2-экв/т (диапазон 1,1–8,5)	~0,2–1,9 т CO_2-экв/т	до 90% меньше энергии
Алюминий	>90% отраслевых выбросов	~5% энергии первичного	около 95% меньше энергии
Литий, никель, кобальт	Высокая (добыча, обогащение)	Существенно ниже	около 80% меньше выбросов

Источник: составлено автором на основе [13; 17; 26].
Примечание: показатели по строкам не унифицированы и приведены в разных единицах (удельные выбросы, т CO_2-экв/т; энергоемкость; доля отраслевых выбросов) – сопоставление носит иллюстративный характер.

2. Ресурсный и техногенный профиль Центральной Азии

Минерально-сырьевая база Центральной Азии масштабна: по запасам и мощностям здесь лидируют Казахстан и Узбекистан. Они заметнее всего по меди, урану и ряду позиций, которые ЕС и США относят к критическим, включая вольфрам и сурьму. Обе страны все чаще называют площадками, способными диверсифицировать мировые поставки в обход нынешнего доминирующего игрока [11; 18; 22]. И обе все заметнее делают ставку не на вывоз концентратов, а на более глубокий передел – дальше по цепочке стоимости [18].

За этот потенциал все активнее конкурируют страны БРИКС – в первую очередь Россия и Китай: для них доступ к минералам региона вписан в более широкую сырьевую стратегию [18]. Тем самым сюжет статьи выходит прямо на то, как БРИКС увязывают климатическую и ресурсную повестку – как согласуют подходы к углеродному учету и как связывают между собой соответствующие рынки.

О масштабе базы нагляднее всего говорят доли региона в мировых запасах. По имеющимся оценкам, на Центральную Азию приходится порядка 38,6% мировых запасов марганца, 30,1% хрома, 20% свинца и 12,6% цинка, а также ощутимые доли титана, алюминия, меди, кобальта и молибдена [18; 25]. У Казахстана – 21 из 34 позиций списка критического сырья ЕС, Кыргызстан среди мировых лидеров по сурьме, Узбекистан – один из крупнейших держателей запасов меди [15; 18]. Эти оценки и подходы к развитию вторичной базы обсуждали на Первом форуме аналитических центров «Центральная Азия – Великобритания» (Ташкент, 14 сентября 2026 г.), одна из сессий которого была посвящена сотрудничеству в сфере критических минералов [1].

Эти данные важны и с точки зрения углеродного регулирования. Если большинство критических минералов в охват CBAM пока не входит, то ферросплавы – уже входят. Товарная группа «черные металлы» (код КН 72) включает ферромарганец, феррохром и ферроникель (позиции 7202 1x, 7202 4x, 7202 60), тогда как ферровольфрам, ферромолибден, феррованадий и ряд других ферросплавов из охвата прямо исключены [19, прил. I]. Иными словами, именно для тех металлов, по которым у региона наибольшие доли мировых запасов (марганца и хрома) углеродоемкость передела уже сейчас влияет на стоимость экспорта в ЕС. Давление CBAM на минеральные цепочки Центральной Азии, следовательно, не только гипотетическое: через ферросплавы оно действует уже сейчас, а вольфрам и молибден – ближайшие кандидаты, если охват будет расширяться. Однако масштаб этого канала пока ограничен: из 1,4 млн т ферросплавов, экспортированных Казахстаном в январе–сентябре 2025 г., на страны ЕС пришлось около 140 тыс. т (порядка 10%), тогда как свыше 760 тыс. т ушло в Китай [7]. К тому же часть экспортируемых ферросплавов (например, ферросилиций) в охват CBAM не входит [19, прил. I].

Есть у региона и своя особенность: со времен советской добычи и металлургии здесь накопились огромные объемы техногенных отходов; в хвостах и отвалах до сих пор лежат цветные и редкие металлы. Масштаб таких накоплений показателен. Только хвостохранилище Балхашской обогатительной фабрики в Казахстане содержит свыше 630 млн т материала при содержании меди 0,1–0,4% (около 2 млн т меди) [10]. Детальный анализ этих хвостов показывает, что помимо меди (в среднем 0,32%) они содержат цинк (около 0,77%) и железо (около 2,14%), а биогидрометаллургическая переработка обеспечивает извлечение меди на уровне 50–63% в зависимости от режима (pH ≈ 1,8, 30–32 °C) [10]. Это конкретный вторичный ресурс с измеримым содержанием полезных компонентов. Прежде им не придавали значения – технологии простые, цены низкие; теперь же на них смотрят иначе: извлечение дешевеет и совершенствуется, а минералы дорожают. Вдобавок такие объекты не только являются доходными, но и копят экологический риск, и переработка выглядит все разумнее. Казахстан уже разворачивает политику в эту сторону. В частности, предлагаются налоговые льготы для переработки техногенных минеральных образований [9]. Какие именно объекты и что из них можно извлечь – в таблице 2.

Следовательно, ресурса у региона два. Первый – минеральная база, за нее борьба уже идет. Второй – техногенная, и в нее пока вкладывают несопоставимо меньше, но именно она открывает путь к низкоуглеродной переработке. Она меньше зависит от будущих углеродных ограничений и особенно интересна партнерам, которым важен углеродный след поставок. Нагляднее всего это иллюстрируется на примере лома и электронных отходов – извлечение металлов из них уже рассматривают как отдельный инструмент декарбонизации отрасли [24].

Таблица 2

Основные типы техногенных объектов Центральной Азии и извлекаемые компоненты

Тип объекта	Извлекаемые компоненты	Значение для низкоуглеродного передела
Хвосты обогащения руд цветных металлов	Медь, цинк, золото, сопутствующие редкие металлы	Сырье измельчено и вскрыто, что снижает энергозатраты передела
Отвалы вскрышных и вмещающих пород	Остаточные цветные металлы, минеральное сырье	Потенциал для строительных материалов и доизвлечения
Металлургические шлаки и шламы	Цветные и редкие металлы, оксиды	Высокая концентрация компонентов, локализация у заводов
Вторичный лом и отходы электроники	Медь, драгоценные и редкие металлы	Наименьшая удельная эмиссия при переработке

Источник: составлено автором на основе [9; 10; 24].

3. Экономико-стратегическая перспектива: инвестиционное окно

Экономически углеродные ограничения видоизменяют структуру затрат, а заодно и географию. Появился вопрос: где теперь выгодно ставить производство. Как только плата за выбросы входит в цену металла, переделы с высоким следом теряют позиции, а чистые получают премию – или как минимум сохраняют покупателя. Для региона, который хочет отойти от сырьевой модели, это и есть окно для инвестиций.

Здесь в одной точке сходятся две задачи – перестроить цепочку и снизить выбросы. Переработка техногенного сырья на месте оставляет в регионе основную долю добавленной стоимости. Новые переделы можно сразу проектировать чистыми – вторичное сырье менее энергоемко, также есть доступ к гидро- и возобновляемой энергии. А подтвержденный углеродный след продукции становится конкурентным преимуществом на рынках с углеродным регулированием. Все это ложится в логику циркулярной экономики. Важно, однако, уточнить механизм этого выигрыша при действующих правилах. Для черных металлов и алюминия CBAM учитывает только прямые выбросы (приложение II регламента), поэтому преимущество доступа к гидро- и возобновляемой энергии напрямую под механизмом пока почти не монетизируется. Основной эффект вторичного сырья реализуется именно через снижение прямых выбросов передела (меньше дробления, обжига, металлургической обработки), тогда как ценность низкоуглеродного энергоснабжения проявляется в полной мере лишь в тех системах учета, которые охватывают косвенные выбросы.

Однако это окно способно быстро закрыться. Выигрывают те, кто успеет запустить низкоуглеродные мощности до того, как регулирование станет обязательным для минеральных цепочек. Промедление грозит надолго закрепить

в роли поставщика углеродоемких концентратов, к тому же с дисконтом. Поэтому ценность вторичной базы – не только в экологичности, но и в скорости; это шанс занять нишу низкоуглеродного передела. Границы этого преимущества следует оценивать трезво. Основные потоки сырьевого экспорта региона сегодня направлены в Китай, а не в ЕС, поэтому прямой рычаг CBAM для текущей торговли ограничен; кроме того, регламент ЕС о критическом сырье стимулирует развитие переработки внутри самого Союза, что при определенных условиях способно конкурировать с локализацией передела в регионе. Эти обстоятельства не отменяют сценарную логику работы, но очерчивают реальный горизонт ее применимости.

Порядок величин можно показать на простом иллюстративном расчете, с рядом оговорок. По данным Wei et al. [27, рис. 3; оценка автора по графику], совокупный углеродный след производства феррохрома снижается с примерно 5,4 т CO_2-экв/т при традиционной технологии (дуговая печь) до около 1,8 т CO_2-экв/т при низкоуглеродном маршруте (закрытая печь с предподогревом). Если условно отнести этот показатель ко всему объему поставок ферросплавов Казахстана в ЕС (около 140 тыс. т в год [7], верхняя оценка; удельные выбросы феррохрома для простоты распространены и на ферромарганец) и взять цену квот порядка 80 евро/т CO_2 (уровень EU ETS в 2025 г.), то разница в стоимости углеродного следа между двумя маршрутами достигает порядка 40 млн евро в год.

Однако здесь принципиальна структура этих выбросов, и она же задает главный вывод. Основной выигрыш низкоуглеродного маршрута приходится на электроэнергию (по тем же данным, около 3,7 против 0,4 т CO_2-экв/т), тогда как прямые выбросы передела снижаются слабо (примерно с 1,8 до 1,5 т CO_2-экв/т). А для черных металлов CBAM учитывает сегодня только прямые выбросы, поэтому в действующем режиме механизм улавливает лишь малую часть этого выигрыша – различие по оплачиваемой части составляет лишь несколько миллионов евро. Именно это и подтверждает ключевой тезис работы: при нынешних правилах денежный эффект низкоуглеродного передела ограничен, но он становится кратно больше по мере расширения охвата CBAM на косвенные выбросы, – что и обосновывает опережающий, сценарный подход. К тому же CBAM вводится поэтапно (в 2026 г. оплачивается около 2,5% обязательства, полный режим – к 2034 г.), а из платежа вычитается цена углерода, уже уплаченная в стране происхождения, – в Казахстане действует собственная система торговли квотами.

Отдельный вопрос – как вообще организовать переработку техногенной ресурсной базы. Старые хвостохранилища и отвалы разбросаны по территориям, и полезного в каждом, как правило, немного. Строить под каждый свой стационарный завод – экономически не оправдано [1; 12]. Более оправданы модульные, мобильные, передвижные комплексы: одна установка по очереди обходит несколько площадок. Получается принцип «одна инвестиция – несколько объектов», и срок службы оборудования больше не привязан к одному месторождению. Капзатраты распределяются, мелкие и разрозненные объекты втягиваются в переработку, а вокруг них складываются региональные кластеры с общей инфраструктурой [1]. Для низкоуглеродной повестки это принципиально: чем ближе передел к сырью, тем короче транспортное плечо – и тем жизнеспособнее даже то вторсырье, которое поодиночке не окупается.

Таблица 3

Сопоставление первичной и вторичной ресурсной базы критических минералов по параметрам, значимым для углеродного регулирования

Параметр	Первичная база	Вторичная (техногенная) база
Удельный углеродный след передела	Высокий (вскрыша, дробление, обжиг)	Существенно ниже (сырье извлечено и частично подготовлено)
Чувствительность к углеродному регулированию	Растущая по мере расширения охвата	Пониженная, формирует премию
Инвестиционная зрелость в регионе	Объект внешней конкуренции	Недоинвестирована, окно возможностей
Сопутствующий эффект	Новые нарушения земель	Снижение экологических рисков хвостохранилищ

Источник: составлено автором на основе [13; 19].

4. Институциональная перспектива: стандарты, учет и асимметрии

Мешают раскрыть потенциал не одни лишь технологии и финансы – мешает и то, как устроены институты.

Первое, без чего не обойтись, – единый, сопоставимый учет углерода. Доказать, что низкоуглеродная переработка дает реальный экономический эффект, удастся лишь тогда, когда ее углеродный след можно проверить и когда его признают на внешних рынках. Для этого нужны методики подсчета, совместимые с CBAM и смежными системами, а также национальная система мониторинга, отчетности и верификации. На практике речь идет о том, чтобы связать между собой разные языки учета – стандарт углеродного следа продукции ISO 14067, корпоративный GHG Protocol – с методикой CBAM и правилами систем торговли квотами, прежде всего EU ETS. Основная трудность сопоставимости возникает там, где у этих методик расходятся границы учета и исходные допущения.

Второе – договориться, что именно считать. Сейчас механизм учитывает прямые, технологические выбросы, хотя значительная часть углеродного следа переработки приходится на потребленную электроэнергию. Для региона с гидро- и прочими ВИЭ это потенциальный плюс – но сработает он лишь при правильно проведенных границах учета и при официальном признании низкоуглеродного характера энергоснабжения. От методики зависит все: она способна и усилить преимущество вторичного передела, и полностью не раскрыть его.

Третье – управление асимметричной зависимостью. Внешнему партнеру нужен прежде всего доступ к сырью, а не перенос переработки в регион. И инвестиции возможно структурировать так, что добавленная стоимость осядет за пределами Центральной Азии. Институциональный ответ очевиден: доступ к ресурсам – в обмен на обязательства по локализации передела, трансферу технологий, развитию местных компетенций. Углеродное регулирование тут оказывается еще и переговорным рычагом – чем выше спрос на низкоуглеродную продукцию, тем дороже стоит именно местный низкоуглеродный передел.

Также важно рассмотреть более широкий уровень – региональную координацию. Без согласованности стран между собой по вопросам стандартов и инфраструктуры вырастают издержки, ослабляются переговорные позиции. Синхронизация подходов к учету, классификации техногенных объектов, требованиям к верификации ведет к получению эффекта масштаба, и вся низкоуглеродная переработка приобретает для инвестора большую привлекательность.

5. Обсуждение: направления политики и исследовательская повестка

Из предложенной рамки следует несколько направлений рекомендаций. По промышленности – поддерживать проекты с заведомо низким следом и привязывать господдержку к тому, можно ли выбросы верифицировать. По внешнеэкономической линии – не ждать, а заранее разрабатывать свои методики учета под требования главных рынков и использовать низкоуглеродный статус продукции как аргумент за столом переговоров. По инвестициям – увязывать доступ к сырью с локализацией переделов и передачей компетенций.

Важно не уйти в одну из двух крайностей. Первая – преувеличить нынешнее давление CBAM на критические минералы. Большинство из них под механизм пока не подпадает, так что аргументация должна быть сценарной, опережающей. Вторая – отказаться от идеи институциональных барьеров. Технический потенциал низкоуглеродной переработки сам по себе еще ничего не гарантирует: без сопоставимого учета углерода и структурированной модели инвестиций экономически она не состоится.

В работе выделены три линии дальнейших исследований. Вначале инвентаризация: описать техногенную базу региона и сопоставить углеродный след первичной добычи и вторичной переработки через оценку жизненного цикла. Потом – сценарии: что будет с конкурентоспособностью разных схем переработки, если углеродное регулирование начнет расширяться. И отдельно – институты: при каких условиях низкоуглеродный след вообще признают на внешних рынках. Эта статья как раз и очерчивает рамку, внутри которой такие работы перестают быть абстракцией.

Заключение

Статья предложила способ связать вторичную – техногенную – базу критических минералов Центральной Азии с трансграничным углеродным регулированием. В прямой охват CBAM большинство критических минералов пока не входит, хотя через ферросплавы механизм уже затрагивает марганцевые и хромовые цепочки. Отвечая на исходный вопрос – когда именно CBAM подталкивает к переработке, а когда нет: уже сейчас – через ферросплавы марганца и хрома; при расширении охвата механизма – для вольфрама и молибдена; в торговле с Китаем прямого давления нет. Именно в нем заложено стратегическое преимущество. И чем шире расходится углеродное регулирование, тем это преимущество ощутимее.

Если смотреть сквозь гибридную оптику – экономико-стратегическую и институциональную разом, – становится заметно следующее: низкоуглеродная переработка техногенного сырья не сводится к перестройке цепочек стоимости. Это еще и способ снять часть экологических рисков и усилить переговорные позиции региона. Чтобы потенциал заработал, нужны две вещи: своевременные инвестиции и система углеродного учета, сопоставимая с требованиями внешних рынков. В такой рамке CBAM – не столько прямое давление, сколько ранний сигнал, задающий курс на низкоуглеродную перестройку переработки.

Подход согласуется с логикой устойчивого развития. Он отвечает задачам более рационального обращения с отходами и сокращения их образования (ЦУР 12) и работает на устойчивую, технологически обновленную промышленную базу (ЦУР 9) [23]. В итоге низкоуглеродная переработка техногенного сырья оказывается точкой, где сходятся экономические, экологические и стратегические интересы региона.

Литература
1. Архипкин О. Техногенные минеральные образования Центральной Азии: подходы к развитию вторичной ресурсной базы критических минералов : доклад на Первом форуме аналитических центров «Центральная Азия – Великобритания» (Ташкент, 14 сентября 2026 г.). – Не опубл.
2. Башмаков И.А. Углеродное регулирование в ЕС и российский сырьевой экспорт // Вопросы экономики. – 2022. – № 1. – С. 90–109. – DOI: 10.32609/0042-8736-2022-1-90-109.
3. Невская А., Баронина Ю. Трансграничное углеродное регулирование: новый контекст отношений России и ЕС // Современная Европа. – 2021. – № 6. – С. 63–74. – URL: http://www.sov-europe.ru/2021-6/transgranichnoe-uglerodnoe-regulirovanie-novyj-kontekst-otnoshenij-rossii-i-es.html (дата обращения: 30.08.2026).
4. Порфирьев Б.Н. Декарбонизация versus адаптация экономики к климатическим изменениям в стратегии устойчивого развития // Проблемы прогнозирования. – 2022. – № 4. – С. 45–54. – URL: https://ecfor.ru/publication/dekarbonizatsiya-ili-adaptatsiya-k-klimaticheskim-izmeneniyam/ (дата обращения: 30.08.2026).
5. Порфирьев Б.Н., Широв А.А., Колпаков А.Ю. Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России // Мировая экономика и международные отношения. – 2020. – Т. 64, № 9. – С. 15–25. – URL: https://www.imemo.ru/publications/periodical/meimo/archive/2020/9-t-64/world-energy-after-the-pandemic/low-carbon-development-strategy-prospects-for-the-russian-economy (дата обращения: 28.08.2026).
6. Худояров С.Р., Якубов М.М., Пирматов Р.Х., Валиев Х.Р. Техногенные ресурсы черной металлургии и их комплексная переработка в условиях АО «Узметкомбинат» // Черные металлы. – 2022. – № 2. – DOI: 10.17580/chm.2022.02.12. – URL: https://www.rudmet.ru/journal/2092/article/34958/ (дата обращения: 30.08.2026).
7. Шамсутдинова Ж. Ферросплавы уходят на Восток: кто платит больше всего. Инфографика // LSM.kz. – 2025. – 24 нояб. – URL: https://lsm.kz/eksport-ferrosplavov-v-2020-2025 (дата обращения: 04.10.2026).
8. Юшина Т.И., Петров И.М., Черный С.А., Петрова А.И. Технологии переработки руд редкоземельных металлов при освоении новых месторождений // Обогащение руд. – 2020. – № 6. – DOI: 10.17580/or.2020.06.08. – URL: https://www.rudmet.ru/journal/1977/article/33309/ (дата обращения: 30.09.2026).
9. Alipuly M., Rysbekov K., Begentayev M., Lee J., Azat S. Mine waste and its recycling in Kazakhstan // Energy & Environment. – 2026. – DOI: 10.1177/0958305X261425530.
10. Batkal A., Azhigulova R., Zhussupova A., Mussapyrova L., Imanbayev Y., Muktaly D. Study of Bioleaching Processes of Technogenic Waste from Mining and Metallurgical Enterprises of Kazakhstan // Metals. – 2026. – Vol. 16, № 6. – Art. 614. – DOI: 10.3390/met16060614.
11. Cao S. Central Asia's tungsten test: Can Kazakhstan, Uzbekistan redraw US-China critical minerals map? // Fastmarkets. – 2026. – URL: https://www.fastmarkets.com/insights/central-asias-tungsten-kazakhstan-uzbekistan-us-china-critical-minerals/ (дата обращения: 28.07.2026).
12. Drobe M., Haubrich F., Gajardo M., Marbler H. Processing Tests, Adjusted Cost Models and the Economies of Reprocessing Copper Mine Tailings in Chile // Metals. – 2021. – Vol. 11, № 1. – Art. 103. – DOI: 10.3390/met11010103.
13. International Energy Agency. Recycling of Critical Minerals. – Paris: IEA, 2024. – URL: https://www.iea.org/reports/recycling-of-critical-minerals (дата обращения: 27.07.2026).
14. International Energy Agency. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. – Paris: IEA, 2021. – URL: https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions (дата обращения: 27.07.2026).
15. Kazakhstan as a Minerals Investment Hub: Unlocking Potential through the AIFC. – Astana: Astana International Financial Centre, 2025. – URL: https://aifc.kz/wp-content/uploads/2025/09/mining-report-aifc-2025-eng.pdf (дата обращения: 30.09.2026).
16. Kim Y., Ivatova L., Kang S., Ordabek Y. Central Asia as New Battle Grounds: Critical Mineral Strategies of Kazakhstan and Uzbekistan // Journal of Eurasian Studies. – 2026. – Vol. 17, № 2. – P. 379–394. – DOI: 10.1177/18793665261442863.
17. Mansell G. Understand your copper emissions // CarbonChain. – 2023. – URL: https://www.carbonchain.com/blog/understand-your-copper-emissions (дата обращения: 30.09.2026).
18. OECD. Regional Note on Critical Minerals in Central Asia. – Paris: OECD, 2026. – URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/events/2026/04/critical-minerals-forum/oecd-critical-minerals-regional-note-central-asia.pdf (дата обращения: 10.08.2026).
19. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism // Official Journal of the European Union. – 2023. – L 130. – P. 52–104. – URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj (дата обращения: 10.08.2026).
20. Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials // Official Journal of the European Union. – 2024. – L 2024/1252. – URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj (дата обращения: 30.09.2026).
21. Regulation (EU) 2025/2083 of the European Parliament and of the Council of 8 October 2025 amending Regulation (EU) 2023/956 as regards simplifying and strengthening the carbon border adjustment mechanism // Official Journal of the European Union. – 2025. – L 2025/2083. – URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2025/2083/oj (дата обращения: 30.09.2026).
22. Safarmamadov T. Central Asia's Emerging Role in the Global Critical Mineral Supply Chain // ENERPO Journal. – 2026. – URL: https://enerpojournal.eusp.org/2026/02/central-asias-emerging-role-in-the-global-critical-mineral-supply-chain/ (дата обращения: 28.09.2026).
23. The Sustainable Development Goals Report 2024 / United Nations. – New York: UN, 2024. – URL: https://unstats.un.org/sdgs/report/2024/ (дата обращения: 30.09.2026).
24. Torrubia J., Parvez A.M., Sajjad M., García Paz F.A., van den Boogaart K.G. Recovery of copper from electronic waste: An energy transition approach to decarbonise the industry // Journal of Cleaner Production. – 2024. – Vol. 485. – Art. 144349. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.144349.
25. Vakulchuk R., Overland I. Central Asia is a missing link in analyses of critical materials for the global clean energy transition // One Earth. – 2021. – Vol. 4, № 12. – P. 1678–1692. – DOI: 10.1016/j.oneear.2021.11.012.
26. van Heusden R., Sandström J., Chau S., Puleo M. The answer to the aluminium industry's emissions issue? Aluminium's infinite recyclability // World Economic Forum. – 2021. – 9 Dec. – URL: https://www.weforum.org/stories/2021/12/aluminium-emissions-recycling-circular-economy/ (дата обращения: 30.09.2026).
27. Wei W., Samuelsson C., Tilliander A., Gyllenram R., Jönsson P.G. Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of High-Carbon Ferrochrome Production // JOM. – 2023. – Vol. 75, № 4. – P. 1206–1220. – DOI: 10.1007/s11837-023-05707-8.

Secondary (technogenic) resource base of central Asia's critical minerals under carbon regulation: cbam as a driver of low-carbon processing

Mashina A.D.
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

JEL classification: H87, F02, F15, F29, F40, F42, F49

The paper proposes a conceptual framework linking the formation of a secondary (technogenic) resource base of Central Asia's critical minerals with the logic of the EU's carbon border adjustment mechanism (CBAM). It is shown that critical minerals (lithium, rare earth elements, tungsten, antimony, copper) are currently outside CBAM's product scope, yet the products of their processing (primarily metals) are already partly affected, and the trajectory of regulatory expansion makes the carbon intensity of processing a significant competitiveness factor in the medium term. It is argued that processing of technogenic feedstock (tailings, beneficiation waste, secondary scrap) delivers a substantially lower carbon footprint than primary mining and thus forms a strategic window for localizing low-carbon processing in the region. A hybrid analytical approach is proposed, combining an economic-strategic perspective (value-chain upgrading, investment window) and an institutional one (alignment of carbon-accounting standards, risks of asymmetric dependence). Directions for industrial and foreign economic policy are formulated.

Keywords: critical minerals, secondary resources, technogenic feedstock, carbon regulation, CBAM, Central Asia, low-carbon processing, value chains.

References

1. Arkhipkin O. Technogenic Mineral Formations of Central Asia: Approaches to Developing the Secondary Resource Base of Critical Minerals. Report at the First Central Asia–UK Think Tank Forum (Tashkent, 14 September 2026). Unpublished.
2. Bashmakov I.A. Uglerodnoe regulirovanie v ES i rossiiskii syr'evoi eksport [EU carbon regulation and Russian commodity exports]. Voprosy Ekonomiki, 2022, no. 1, pp. 90–109. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-1-90-109.
3. Nevskaya A., Baronina Yu. Transgranichnoe uglerodnoe regulirovanie: novyi kontekst otnoshenii Rossii i ES [Cross-border carbon regulation: a new context of Russia–EU relations]. Sovremennaya Evropa, 2021, no. 6, pp. 63–74. Available at: http://www.sov-europe.ru/2021-6/transgranichnoe-uglerodnoe-regulirovanie-novyj-kontekst-otnoshenij-rossii-i-es.html (accessed 30.08.2026).
4. Porfir'ev B.N. Dekarbonizatsiya versus adaptatsiya ekonomiki k klimaticheskim izmeneniyam v strategii ustoichivogo razvitiya [Decarbonization versus adaptation of the economy to climate change in the sustainable development strategy]. Problemy Prognozirovaniya, 2022, no. 4, pp. 45–54. Available at: https://ecfor.ru/publication/dekarbonizatsiya-ili-adaptatsiya-k-klimaticheskim-izmeneniyam/ (accessed 30.08.2026).
5. Porfir'ev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. Strategiya nizkouglerodnogo razvitiya: perspektivy dlya ekonomiki Rossii [Low-carbon development strategy: prospects for the Russian economy]. Mirovaya Ekonomika i Mezhdunarodnye Otnosheniya, 2020, vol. 64, no. 9, pp. 15–25. Available at: https://www.imemo.ru/publications/periodical/meimo/archive/2020/9-t-64/world-energy-after-the-pandemic/low-carbon-development-strategy-prospects-for-the-russian-economy (accessed 28.08.2026).
6. Khudoyarov S.R., Yakubov M.M., Pirmatov R.Kh., Valiev Kh.R. Tekhnogennye resursy chernoi metallurgii i ikh kompleksnaya pererabotka v usloviyakh AO «Uzmetkombinat» [Technogenic resources of ferrous metallurgy and their integrated processing at Uzmetkombinat JSC]. Chernye Metally, 2022, no. 2. DOI: 10.17580/chm.2022.02.12. Available at: https://www.rudmet.ru/journal/2092/article/34958/ (accessed 30.08.2026).
7. Shamsutdinova Zh. Ferrosplavy ukhodyat na Vostok: kto platit bol'she vsego. Infografika [Ferroalloys heading East: who pays the most. Infographic]. LSM.kz, 24 November 2025. Available at: https://lsm.kz/eksport-ferrosplavov-v-2020-2025 (accessed 04.10.2026).