УДК 332.14:338.45:622.33

Якушев С.А., студент
Сахаров В.В., студент
Научный руководитель – Л. Г. Шутько, канд. экон. наук, доцент
(КузГТУ, г. Кемерово)

S. A. Yakushev, student
V. V. Sakharov, student
Scientific supervisor – Larisa G. Shutko, Cand. Sc. (Economics),
Associate Professor
(KuzSTU, Kemerovo)

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ И РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ КУЗБАССА

RARE EARTH METALS AS A STRATEGIC FACTOR IN TRANSFORMATION AND DEVELOPMENT OF THE KUZBASS ECONOMY

В статье критически оценены перспективы диверсификации экономики Кемеровской области – Кузбасса (Кузбасса) при переработке золошлаков, определены ее возможности и ограничения, влияние на устойчивое развитие экономики региона. Обоснована нерентабельность моноизвлечения РЗМ и доказана необходимость безотходной переработки (Zr, Ga, Sc + РЗМ + геополимеры) с учетом эколого-социальных факторов угольного региона.

The article critically assesses prospects for diversifying the Kuzbass economy through coal ash processing. The economic unviability of standalone REE extraction is substantiated; the necessity of multi-component processing (Zr, Ga, Sc + REE + geopolymers) and social-ecological effects are proven.

В современных реалиях экономика Кемеровской области – Кузбасса сталкивается со структурными вызовами. Модель развития, ориентированная на экспорт сырого угля, практически исчерпала потенциал роста [1]. Снижение мировых цен и логистические лимиты обострили кризис: на восточных направлениях до 65-70 % конечной цены угля составляют транспортные расходы [2], ставя поставки на грань рентабельности. При доле угольного сектора около 40 % в налоговых доходах области [2], спад отраслевой прибыли создает угрозы бюджетной стабильности и благополучию населения [3, с. 220; 4, с. 45].

В качестве вектора диверсификации экономики региона рассматривается глубокая переработка сырья и освоение редких и редкоземельных металлов (РЗМ). Потребность в РЗМ обусловлена задачами технологического суверенитета РФ: микроэлектроника и ОПК требуют стабильных внутренних поставок оксидов. Несмотря на то, что запуск разделительных мощностей в США и Малайзии снизил мировую долю Китая в рафинировании РЗМ с 92 до ~85 % [5], КНР сохраняет контроль над переработкой большинства критических минералов.

В региональных программах источником металлов часто называют весь техногенный комплекс области. Однако необходима строгая дифференциация: вскрышные породы (десятки миллиардов тонн на площади более 100 тыс. га нарушенных земель [6, с. 104.1–104.2]) содержат элементы на уровне кларка и пригодны лишь для щебня и рекультивации. Реальным металлоносным сырьем выступают золошлаковые отходы (ЗШО) ТЭС, где сжигание угля (выход золы 10–20 %) концентрирует нелетучие элементы в 5–10 раз. По оценкам экспертов КузГТУ, к 2000 году на золоотвалах крупных ТЭС накопилось свыше 70,1 млн т ЗШО (более 1125 га) при ежегодном выходе 5–7 млн т [7, с. 38]; сегодня объем ЗШО в регионе превышает 100 млн тонн.

Вместе с тем тезис о «промышленных кондициях РЗМ в золах Кузбасса» требует научной корректировки. ИСП-МС анализ золошлаков Кемеровской ГРЭС (КузГТУ, проф. Т.Г. Черкасова [7, с. 40]) показал сумму лантаноидов, Y и Sc около 228–230 г/т (лантаноиды – 182,5 г/т). Концентрация зависит от марки угля и режима сжигания (в золе уноса она выше, чем в шлаке). Промышленно значимые кондиции в пробе имеют не лантаноиды, а цирконий (Zr – 222 г/т), ниобий (Nb – 19 г/т), галлий (Ga – 19 г/т), молибден (Mo – 4,6 г/т) и ванадий (V – 97 г/т). Скандий (Sc – 15,7 г/т), иттрий (Y – 30 г/т), церий (Ce – 73 г/т) и неодим (Nd – 34 г/т) прикондиционны, а германия менее 1 г/т (0,69 г/т).

На лантан (39 г/т) и церий (73 г/т) приходится 112 г/т – около 61 % массы лантаноидов и около половины (49 %) всех РЗМ с Y и Sc. Эти легкие оксиды дешевы. Прямой расчет теоретической валовой стоимости корзины РЗЭ в 1 т золы Кемеровской ГРЭС по котировкам 2026 года при допущении 100 % извлечения представлен в таблице 1.

Таблица 1

Расчет теоретической валовой стоимости корзины РЗЭ в 1 т ЗШО Кемеровской ГРЭС (без Sc, курс 7,1 CNY/USD)

Компонент	**Содержание [7], г/т**	**Коэфф. в оксид**	**Выход, г/т**	**Цена оксида [8], долл./т**	**Стоимость, долл./т**
La2O3 (лантан)	39,0	1,173	45,7	634 (4 500 CNY)	0,03
CeO2 (церий)	73,0	1,228	89,6	3 140 (22 300 CNY)	0,28

Компонент	**Содержание [7], г/т**	**Коэфф. в оксид**	**Выход, г/т**	**Цена оксида [8], долл./т**	**Стоимость, долл./т**
Pr-Nd оксид	42,0	1,170	49,1	107 000 (760 тыс. CNY)	5,25
Y2O3 (иттрий)	30,0	1,270	38,1	10 845 (77 000 CNY)	0,41
Dy2O3 (диспрозий)	5,0	1,150	5,8	281 000 (2 млн CNY)	1,63
Tb4O7 (тербий)	0,92	1,180	1,1	845 000 (6 млн CNY)	0,93
Прочие лантаноиды	21,6	1,180	25,5	Средневзвешено	1,47
ИТОГО корзина РЗЭ (верхняя граница при 100 % извлечении)	**211,5**	**–**	**254,9**	**–**	**10,00**

Представленный расчет показывает, что верхняя граница стоимости корзины РЗЭ в тонне золы – около 10 долл., а товарный выход (при извлечении 50–70 %) составит лишь 5–7 долл./т. При затратах на выщелачивание 25–35 долл./т моноизвлечение РЗМ заведомо убыточно.

Экономический потенциал раскрывается лишь при попутном извлечении редких металлов: галлий (19 г/т) дает валовую ценность ~8,5 долл.; ванадий (97 г/т) – ~2,5 долл.; цирконий (222 г/т) – ~1,5 долл.; ниобий – ~1,2 долл., формируя ~13,7 долл./т. Совместно с РЗЭ валовый потенциал металлов составляет 23–24 долл./т (товарный выход – 12–15 долл./т), что покрывает лишь прямые затраты передела. Поэтому обоснована предварительная необходимость комплексной утилизации всей матрицы ЗШО, где прибыль обеспечивает реализация стройматериалов:

$$Эобщ = (Дрзм + Дрм + Дстрой) – (Зизвл + Зпер + Злог) + Ээкол, \quad (1)$$

где Дрзм – доход от корзины РЗЭ (5–7 долл./т);

Дрм – доход от редких металлов (Zr, Ga, V, Nb – 7–9 долл./т);

Дстрой – выручка от реализации 85–90 % алюмосиликатного остатка в виде геополимеров (15–25 долл./т);

Зизвл, Зпер, Злог – эксплуатационные затраты;

Ээкол – экономия на платежах за размещение отходов (НВОС).

В таблице 2 представлены результаты сравнения сырьевой угледобычи и комплексной переработки ЗШО.

Таблица 2

Сопоставление сырьевой угледобычи и комплексной переработки ЗШО

Параметр	Традиционная угледобыча	Комплексная переработка ЗШО

Параметр	Традиционная угледобыча	Комплексная переработка ЗШО
Глубина переработки	Низкая (сортировка, рядовой уголь)	Глубокая гидрометаллургия и геополимеры
Товарная продукция	Монопродукт (энергетический уголь)	Полипродукт: редкие металлы (Ga, Zr), РЗМ, вяжущие
Транспортная уязвимость	Критическая (до 65–70 % в цене [2])	Минимальная (металлы компактны, вяжущие локализованы)
Экологический результат	Отчуждение земель, накопление отвалов	Ликвидация золоотвалов, Zero Waste
Качество занятости	Тяжелый труд в опасных условиях: доля занятых во вредных условиях – 67,5 % (в РФ – 35,4 %), уровень профессиональной заболеваемости в 7,6 раза выше среднероссийского [4, с. 46]	Высококвалифицированный наукоемкий труд на автоматизированных гидрометаллургических модулях (исключение подземных и пылевых рисков)

Социально-экономические дивиденды комплексной утилизации ЗШО открывают перспективу преодоления моногородской уязвимости Кузбасса (Прокопьевск, Киселевск, Анжеро-Судженск), где спад угледобычи обостряет риски занятости и миграционного оттока трудоспособного населения [9, с. 148]. Переход к глубокому рециклингу техногенного сырья кардинально снижает риски здоровью населения: в угольном секторе области 67,5 % работников заняты в опасных и вредных условиях (в среднем по РФ – 35,4 %), а уровень профессиональной заболеваемости в 7,6 раза превышает среднероссийский показатель [4, с. 46], сопровождаясь высоким уровнем заболеваний органов дыхания из-за пылевой нагрузки. Автоматизированные гидрометаллургические комплексы формируют рабочие места нового уклада, стимулируя сферу услуг, а центром кадровой подготовки выступает КузГТУ в рамках НОЦ «Кузбасс – Донбасс».

Экологический вектор рассматриваемого проекта направлен на ликвидацию более 1100 га золоотвалов ТЭС [7, с. 38], отчуждающих продуктивные земли и создающих риски пыления и загрязнения бассейна реки Томь. Вместе с тем рынок геополимеров в РФ находится в фазе зарождения, требуя региональной промышленной политики: стандартов и квот на применение зольных вяжущих в дорожном строительстве. Использование преференций ОЭЗ «Кузбасс» и ТОР позволит снизить риски и приблизить срок окупаемости пилотных комплексов к целевым 4-5 годам в модели управляемой диверсификации [10; 11, с. 472].

Итак, сделаем следующие выводы относительно перспективы диверсификации экономики Кузбасса при переработке золошлаков: редкоземельные металлы не могут служить изолированной основой экономики Кузбасса: расчетная стоимость корзины РЗЭ в золе Кемеровской ГРЭС (~10 долл./т при 100 % извлечении и 5–7 долл./т товарных) доказывает не-

рентабельность монодобычи. Обоснована предварительная необходимость создания комплексных производств, объединяющих извлечение кондиционных редких металлов (Zr, Ga, V, Nb), РЗМ и утилизацию 85–90 % минеральной матрицы в стройматериалы и геополимеры.

В целом формирование регионального кластера безотходной переработки ЗШО позволит диверсифицировать структуру ВРП, нивелировать транспортную уязвимость экспорта угля и поэтапно ликвидировать накопленный экологический вред более 1100 га золоотвалов. Для реализации потенциала необходима разработка раздела Стратегии развития Кемеровской области – Кузбасса до 2035 года [10], предусматривающего поддержку пилотных модулей, в т.ч. на базе КузГТУ и целевые квоты на применение зольных материалов в дорожном строительстве.

Список литературы

1. Шутько, Л. Г. Цели устойчивого развития регионального уровня: постановка и реализация на примере Кузбасса / Л. Г. Шутько, Л. Л. Самородова // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2020. – Т. 5. – № 2(16). – С. 279–286. DOI: 10.21603/2500-3372-2020-5-2-279-286. [Электронный ресурс]. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42898436. (дата обращения: 17.10.2026).

2. Губернатор Кузбасса заявил, что регион снизил доходы бюджета больше всех в стране // Информационное агентство «Интерфакс». – 2024. – 27 сент. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.interfax.ru/russia/984057. (дата обращения: 17.10.2026).

3. Фридман, Ю. А. Концепция трансформации социально-экономической системы Кузбасса в условиях политики декарбонизации / Ю. А. Фридман, Г. Н. Речко, Е. Ю. Логинова, О. И. Хохрина // Регион: экономика и социология. – 2022. – № 4. – С. 219-243. DOI: 10.15372/REG20220409. (дата обращения: 17.10.2026).

4. Шутько, Л. Г. Роль угледобычи в обеспечении социо-экологического благополучия населения угледобывающего региона – Кемеровская область – Кузбасс // Уголь. – 2025. – № 9. – С. 44–48. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-9-44-48.

5. International Energy Agency (IEA). Global Critical Minerals Outlook 2024. – Paris: IEA, 2024. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024. (дата обращения: 17.10.2026).

6. Галлер, А. А. Рекультивация нарушенных земель // СИБРЕСУРС 2022: сб. матер. XIX Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово: КузГТУ, 2022. – С. 104.1–104.7. [Электронный ресурс]. – URL: https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Sibresource/2022/materials/pages/Articles/104.pdf. (дата обращения: 17.10.2026).

7. Черкасова, Т. Г. Определение промышленно значимых кондиций редких элементов в золошлаковых отходах Кузбасса / Т. Г. Черкасова, И. В. Исакова, А. В. Тихомирова, Е. В. Черкасова, А. А. Головачев // Вестник КузГТУ. – 2021. – № 5. – С. 37–44. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-37-44.

8. Биржевые котировки рынка редкоземельных металлов // Информационно-аналитический портал SunSirs. – 2026. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sunsirs.com/ru/.(дата обращения: 17.10.2026).

9. Кулай, С. В. Особенности социально-экономического развития моногородов Кемеровской области (Кузбасса) / С. В. Кулай, Е. Е. Шваков // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2025. – Т. 21. – № 7. – С. 143–160. DOI: 10.24891/gtmsie.

10. Стратегия социально-экономического развития Кемеровской области – Кузбасса на период до 2035 года: Закон Кемеровской области от 23 декабря 2020 г. № 163-ОЗ. – Кемерово, 2020. [Электронный ресурс]. – URL: http://pravo.gov.ru. (дата обращения: 17.10.2026).

11. Мекуш, Г. Е. Когнитивная модель диверсификации экономики Кузбасса в условиях управляемого сжатия / Г. Е. Мекуш, А. Курносов // Вестник КемГУ. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2025. – Т. 10. – № 3. – С. 468–479. DOI: 10.21603/2500-3372-2025-10-3-468-479.