Скобелев Д.О., д.э.н., директор
Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
г. Мытищи
Михайлиди Д.Х., к.э.н., в.н.с.
Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
г. Мытищи

РЕЦИКЛИНГ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ: АСПЕКТЫ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ

В условиях формирования национального суверенитета обладание технологиями производства редкоземельных металлов (РЗМ) становится критически важным фактором. Объём мирового рынка РЗМ незначителен (лишь недавно превысил $10 млрд), но устойчиво растёт на 7-9% ежегодно. Экономическая политика последних 30-35 лет, во-первых, привела к значительному перераспределению индустрии первых переделов в сторону одной страны – Китая, а во-вторых, реализовала модель производства и потребления, в которой экономически сложно вовлекать в промышленный оборот вторичные ресурсы, содержащие РЗМ.

В 2022 г. из 7700 т обогащённого лопаритового концентрата РЗМ (в пересчёте на Tr_2O_3), произведённого на Ловозерском комбинате, только 2300 т переработаны на Соликамском магниевом заводе в неразделённую смесь оксидов РЗМ; смесь практически полностью экспортирована наряду с непереработанным даже в первом переделе концентратом. Современная промышленность России потребляет 1500 т импортируемых РЗМ, Минпромторг России предполагает перспективу роста к 2030 г. до 3000 т.

В 1991 г. СССР производил 8500 т разделённых РЗМ (15% мирового рынка), из них 7300 т потреблялось на внутреннем рынке. Россия обладает необходимыми технологиями, но не реализует их на промышленных установках, поскольку себестоимость РЗМ, достигнутая на крупнотоннажных

производствах Баян-Обо (КНР), обеспечивает безусловный выбор последних, т.е. импорта. В нашей стране функционирует несколько опытных производств разделённых РЗМ, но их годовая мощность едва превышает 100 т.

При переработке лопарита экономически рентабельным считается извлечение Ce, La, Nd, Pr, Nb, Y, Ta. Остальные потребности в первичном сырье планируется «закрывать» за счёт богатого бастнезитового Томторского месторождения, но к его разработке только приступают, а расположение усложняет его быстрое освоение. Поэтому без утилизации электронного лома, фосфогипса и прочих антропогенных источников РЗМ достижение технологического суверенитета в разумные сроки нереально.

Согласно оценкам Global E-waste Monitor, в России в рециклинг поступает 23% электронного лома, что соответствует среднему мировому уровню (лучший достигает 58-60%.) Это составляет ежегодно около 0,45 млн т, из которых потенциально может быть извлечено около 400 т наиболее используемых РЗМ, однако на сегодня утилизация электронного лома ограничивается извлечением драгоценных, цветных и некоторых редких металлов. РЗМ, как правило, остаются неразделёнными примесями в составе цветных металлов.

Эффективными признаны гидро- и пирометаллургические технологии рециклинга. Методы жидкостной экстракции дают высокую чистоту разделения, но не обеспечивают должную скорость реакции. Установки весьма громоздки, и их обслуживание требует высокой квалификации персонала. Технологический процесс сопровождается образованием побочных продуктов, отделение которых от целевых увеличивает затраты.

Использование ионообменных колонн позволяет значительно увеличить скорость реакции, но ограничено возможностями используемых смол, которые также стали объектами импортозамещения. Экономический эффект проявляется с ростом объёмов производства.

Пирометаллургический метод позволяет сохранить первоначальный химический состав утилизируемого продукта, что становится как плюсом (при переработке высококачественного вторичного сырья), так и минусом (при использовании отходов смешанного качества). При внедрении для этой технологии необходимо обеспечивать соответствие жёстким требованиям промбезопасности, что увеличивает себестоимость продукции.

Мировая экономика рециклинга этого вида отходов при учёте всего спектра аспектов его воздействия глубоко убыточна. В 2022 г. доходная часть оценивалась в $28 млрд от стоимости возвращённых в оборот металлов, к которым приплюсовывают монетизированные $23 млрд от предотвращённых эмиссий парниковых газов (ПГ). Расходная часть оценена в $10 млрд стоимости переработки плюс $78 млрд ущерба населению и окружающей среде от поступления электронного лома. При сохранении таких тенденций предполагаемый убыток к 2030 г. составит $40 млрд, которые неизбежно будут переложены на бюджеты потребителей в так называемых «ESG-сознательных» экономиках.

При организации надлежащего менеджмента отходов достижимы намного более привлекательные экономические показатели рециклинга РЗМ. Паритет по рентабельности рециклинга РЗМ в некоторых странах может быть достигнут при целевых уровнях переработки электронного лома в 35-38%, определённых Международной ассоциацией переработчиков. Достижение доли вторичной переработки в 55-60% (Япония, Южная Корея) позволяет получать прибыль, достаточную для вовлечения РЗМ из вторичного сырья в промышленный оборот.

В большинстве оценок фигурирует монетизация выбросов ПГ, которую можно оценивать и интерпретировать по-разному. Между накоплением полезной работы (эксергии) на протяжении жизненного цикла продукции, расстоянием, на которое перемещается сырьё, полуфабрикаты и продукты, и уровнем выбросов ПГ можно проследить взаимосвязь. Фактор расстояния становится очень значимым аспектом экономики замкнутого цикла РЗМ в условиях России, особенно в Арктической зоне с низкой плотностью населения и образования вторичных ресурсов, содержащих РЗМ.

Следовательно, необходимо обеспечить сочетанное развитие добычи первичного сырья и рециклинга РЗМ из утратившей свои потребительские свойства электронной продукции. По мере истощения месторождений и необходимости поиска новых, стоимость добычи первичного сырья начнёт расти, что уже произошло в течение 2025 г., а стоимость вторичной переработки с развитием технологий и оборудования продолжит сокращаться; об этом свидетельствует опыт утилизации металлургических шлаков и радиоактивных изделий.

Формирование подотрасли тщательной первичной сортировки, необходимой для повышения доли утилизированного электронного лома, возможно при развитии системы государственного планирования производства и потребления редкоземельных металлов.