



АККУМУЛЯТОРЫ МОЖНО РАССМАТРИВАТЬ КАК «ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ» СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАЖНЫХ МЕТАЛЛОВ



**АНДРЕЙ
ВОШКИН**

член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук, заведующий лабораторией теоретических основ химической технологии Института общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова РАН

» Утилизация источников тока, прежде всего аккумуляторов и батареек, — важная и актуальная задача. В современном мире их количество стремительно растет: они используются в смартфонах, электро-самокатах, электробусах и промышленной технике. Поэтому вопрос переработки этих элементов стоит остро как с экологической, так и с ресурсной точки зрения. Во-первых, утилизация снижает нагрузку на окружающую среду: если отработанные источники тока накапливаются бесконтрольно, это может привести к серьезным экологическим и сопутствующим проблемам. Во-вторых, аккумуляторы можно рассматривать как «техногенные месторождения» ценных металлов, что в конечном счете существенно повышает эффективность использования природных ресурсов.

Процесс утилизации аккумуляторов сложен и включает много стадий. В первую очередь их необходимо собрать, отсортировать

и разрядить. Затем следует механическое вскрытие и разделение компонентов с помощью различных методов сепарации, включая магнитную. В результате остается так называемая черная масса — наиболее ценный компонент, образующийся при переработке бывших в употреблении аккумуляторов, содержащий стратегически важные металлы: наиболее востребованные литий и кобальт, а также никель, медь, алюминий, марганец и другие.

После первых этапов утилизации встает вопрос — каким образом переработать «черную массу». Ведущая мировая тенденция в этой области основана на использовании гидрометаллургических методов, в частности экстракции. Метод широко применяется благодаря своей энергоэффективности и доступности. Он позволяет эффективно извлекать и разделять ценные металлы. На выходе мы получаем чистые продукты, которые могут быть использованы для производства новых источников тока.

» **«ЧЕРНАЯ МАССА» — НАИБОЛЕЕ ЦЕННЫЙ КОМПОНЕНТ, ОБРАЗУЮЩИЙСЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ АККУМУЛЯТОРОВ. ОН СОДЕРЖИТ СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ МЕТАЛЛЫ: ЛИТИЙ, КОБАЛЬТ, НИКЕЛЬ, МЕДЬ, АЛЮМИНИЙ, МАРГАНЕЦ И ДРУГИЕ**



Работа на роторном испарителе. Источник: Анна Киреенко

С технологической точки зрения экстракция — процесс относительно простой. В основе метода лежит растворение «черной массы» в кислоте или ее аналогах. В результате в растворе образуются ионы металлов, которые затем извлекают с помощью экстрагентов, содержащих специальные селективные реагенты.

Металлы можно получать последовательно, когда один экстрагент при определенных условиях извлекает, например, кобальт, затем при изменении условий — никель и так далее. После регенерации экстрагента (процесса реэкстракции) получают чистые соли металлов, а также сами экстрагенты, которые вновь возвращаются в технологический процесс.

Исторически метод экстракции весьма активно развивался в СССР, особенно в 1940–1950-х годах в рамках атомного проекта, где экстракционные процессы использовались для получения трансурановых элементов. Это дало мощный импульс развитию отечественной школы экстракции, которая до сих пор остается одной из ведущих в мире.

Сегодня экстракционные процессы широко применяются как в мало-, так и в крупнотоннажной химии. Однако главной проблемой остается доступность экстрагентов. Эти вещества попали под санкции, а собственное производство в России за последние десятилетия практически исчезло. Поэтому поиск новых экстрагентов — одна из ключевых научных задач современной химической технологии. Необходимо создать экологически безопасные, эффективные и доступные реагенты, которые могли бы не только заменить импортные аналоги, но и обеспечить возможность решения задач, обусловленных новыми вызовами на пути формирования технологического лидерства Российской Федерации. Над этим мы работаем в рамках проекта, под-



Аспирант Никита Милевский за работой по выделению соединений кобальта. Источник: Анна Киреенко



Карточка проекта



Группа исследователей. Источник: Анна Киреевко

держанного грантом РНФ, выполняемого в Институте общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова Российской академии наук.

В этом заключается большой экономический эффект: твердые вещества проще перевозить и хранить на складах, а исходные реагенты,

коллектив одним из первых в мире показал возможность использования глубоких эвтектических растворителей для решения технологических задач переработки аккумуляторов, работая не только с модельными растворами, но и с реальными источниками тока.

>> НАШ КОЛЛЕКТИВ ОДИН ИЗ ПЕРВЫХ В МИРЕ ПОКАЗАЛ ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПЕРЕРАБОТКИ АККУМУЛЯТОРОВ

Одно из перспективных направлений — глубокие эвтектические растворители. В зарубежной научной литературе для них широко используется аббревиатура DES — Deep Eutectic Solvents. Это относительно новый класс растворителей, который появился около десяти лет назад. Их особенность заключается в том, что при смешивании двух твердых при нормальных условиях веществ, например лимонной кислоты и холин хлорида, образуется жидкий растворитель.

как правило, недорогие и экологически безопасные. Кроме того, такие растворители могут потенциально заменить в технологических процессах как пожароопасные и токсичные органические растворители, так и в перспективе воду, что особенно важно с учетом ограниченного количества чистой воды на планете и все более актуальной повестки, формирующейся как «синяя экономика».

Тематика глубоких эвтектических растворителей активно развивается, а исследования в этой области входят в число самых цитируемых. В России работа в этом направлении пока только начинается. Наш

Перспективы переработки аккумуляторов связаны не только с совершенствованием химических процессов, но и с развитием аппаратного оформления технологических процессов. Следующим шагом для нас станет масштабирование полученных результатов и переход к научным основам и технологическим решениям в части изучения и разработки массообменных процессов с использованием технологического оборудования. Мы уже подали новую заявку на грант РНФ, чтобы перейти от исследований в области химии к инженерным решениям. Поэтому и секцию мы выбрали девятую — «Инженерные науки». В планах — масштабировать и оптимизировать экстракционные процессы на основе глубоких эвтектических растворителей, а также

создать технологии, которые будут решать практические задачи для развития экономики страны. Постоянно появляются новые вызовы, требующие решений, так же как когда-то встал вопрос переработки аккумуляторов. Еще десять лет назад этой проблемы просто не существовало, потому что объем использования аккумуляторов был минимальным.

Хочу отметить, что в России в настоящее время активно ведутся работы в области химии и технологии экстракции в ведущих научных организациях и вузах химического и химико-технологического профиля. Например, в МГУ имени

М. В. Ломоносова под руководством вице-президента РАН, академика РАН Степана Калмыкова разрабатываются экстракционные системы для радиохимии. Коллектив использует квантово-химические расчеты для моделирования экстрагентов, и это одно из перспективных научных направлений. Также успешно работает коллектив ИФХЭ РАН под руководством академика РАН, заместителя президента РАН Аслана Цивадзе. Среди приоритетных задач — разделение изотопов лития, экстракция щелочных и редкоземельных металлов. В частности, ими разработаны прорывные решения для извлечения лития из минерального сырья.



(а) Младший научный сотрудник Арина Милевская определяет содержание воды на титраторе Фишера. Источник: Анна Киреевко



(б) Аспирант Дмитрий Лобович за работой на каскаде экстракторов. Источник: Анна Киреевко

Подводя итог, отмечу, что переработка аккумуляторов становится частью глобального тренда: сейчас разрабатываются новые высокотехнологичные устройства, работающие на химических источниках тока, для которых сразу же создаются технологии утилизации. Уже сегодня многие компании предлагают программы обмена старых

аккумуляторов на новые, внедряя у себя технологии рециклинга отработанных источников тока, что вносит существенный вклад как в экологическое благополучие, так и обеспеченность наукоемких отраслей промышленности стратегически важными металлами. “