

## ВТОРИЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ БАРИЯ В ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКЕ В КОНТЕКСТЕ БЕЗОТХОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.Д. Александрова, магистрант

О.А. Абрамова, магистрант

Самарский национальный исследовательский университет  
(Россия, г. Самара)

DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10454

**Аннотация.** В статье рассматриваются вторичные источники бария, который в 2017 году был включен в список критического сырья. Применение бария в циркулярной экономике в контексте безотходного производства подразумевает использование не только первичных источников металла, но и вторичных – баритовых производственных отходов. Были определены основные вторичные источники бария, уровень переработки и использования в производстве переработанного баритового сырья, имеющиеся технологии по переработке, а также основные проблемы использования вторичного сырья бария.

**Ключевые слова:** циркулярная экономика, устойчивое развитие, циркулярная экономика металлов, безотходное производство, барий, вторичные источники бария.

В настоящее время значительное внимание уделяется эффективному использованию металлов, в том числе бария, который в 2017 году был включен в список критического сырья. В контексте циркулярной экономики и безотходного производства эффективное использование металла предполагает производство не только из первичных ресурсов, но и из вторичных, т.е. из переработанных отходов прошлого производства. В данной статье определены основные вторичные источники бария, а также уровень переработки и использования в производстве переработанных баритовых отходов, технологии переработки и основные проблемы использования вторичного сырья бария.

Из-за снижения запасов первичных ресурсов критического сырья всё больше внимания уделяется переработке продуктов и использованию таких (относящихся к критическому сырью) цветных металлов как вторичного сырья для последующего процесса производства. Кроме того, использование отходов производства как вторичного сырья приносит значительные экономические выгоды: использование металла повторно намного дешевле, чем

добыча первичного сырья из руды (уровень инвестиций меньше в среднем в 3-4 раза). Также стоит отметить и экологические выгоды: для вторичного производства потребляется энергии приблизительно на 75-89% меньше, что представляет собой значительное преимущество в контексте нынешних высоких затрат энергии и ограничений, связанных с выбросами CO<sub>2</sub> которые становятся все выше в Европе [1].

В настоящее время восстановленные цветные металлы обеспечивают 73% мирового производственного процесса, переработка продуктов в конце их срока службы составляет 20% от необходимого уровня [1]. Интересно отметить, что в последние годы наблюдается следующая тенденция: Китай и Индия занимают лидирующие позиции в производстве и экспорте восстановленных цветных металлов [2].

Что касается исследуемых баритовых продуктов и их отходов, для начала следует определить основные виды отходы от производства продуктов, содержащих барит. Список таких кодированных отходов, а также установленный им код опасности отражены в таблице 1 [3].

Таблица 1. Производственные отходы от использования бария и его соединений

Код федеральный / по ФККО	Наименование отходов	Класс опасности
312264	Шлак с содержанием хлористого бария	4
431631	Шлам карбоната бария	3-4
316484	Шлам сульфата бария	4
359908	Отходы барита	3-4
431649	Шлам сульфата бария от хлорощелочного электролиза с содержанием ртути	1-3
351523	Соли бария	4
555103	Отходы баритовой краски	3
2 32 500 00 00 0	Отходы добычи природного сульфата бария (барита) и карбоната бария (витерита), природных боратов, природных сульфатов магния (кизерита)	-
2 91 642 13 20 4	Утяжелитель бурового раствора на основе барита, утративший потребительские свойства (агрегатное состояние: твердое)	4
3 12 737 11 61 4	Ткань фильтровальная хлопчатобумажная, отработанная при очистке раствора перекиси водорода от сульфата бария при производстве перекиси водорода (Изделие из одного волокна)	4
3 18 311 11 20 2	Отходы бария азотнокислого в производстве порохов (агрегатное состояние: твердое)	2
3 61 051 11 20 3	Отходы расплава хлористого бария закалочных ванн при термической обработке металлических поверхностей (агрегатное состояние: твердое)	3
3 61 051 18 20 3	Отходы расплава сульфата бария закалочных ванн при термической обработке металлических поверхностей (агрегатное состояние: твердое)	3
3 61 051 41 20 3	Отходы расплава нитратов и хлоридов натрия, калия и бария при термической обработке металлических поверхностей (агрегатное состояние: твердое)	3
4 05 911 21 60 4	Отходы упаковочных материалов из бумаги и картона, загрязненные солями бария (изделия из волокон)	4

Далее проанализирован текущий уровень переработки таких отходов в Европе, США и России. Важно отметить, что в странах Европы перерабатывается лишь 1% продуктов, содержащих барит [2]. Оценка авторов исследования неоднозначная: с одной стороны, данный показатель крайне низкий, с другой стороны, барий включили в список критического сырья только в 2017 году, а значит, более высокий показатель переработки маловероятен. По некоторым американским отчетам показатель еще ниже, а именно – равный нулю. Например, в отчете Mineral Commodity summaries 2018, составленном US Department of the Interior и US Geological Survey, в разделе, посвященном бариту, написано «recycling: none» [4]. В соответствии с наблюдаемыми тенденциями по циркулярной экономике, авторы данной работы мо-

гут предположить, что некоторый объем баритовых отходов используется повторно, однако эта цифра настолько незначительна, что в отчетах округляется до нуля. Несмотря на критически низкий уровень переработки баритовых отходов, для производства найдена альтернатива применения бария: гематит и ильменит могут использоваться в буровых растворах, а для неглубоких скважин также может использоваться карбонат кальция [2].

Что касается России, показатель, отражающий уровень переработки какого-либо цветного металла, в т.ч. барита, в свободном доступе не найден. Однако для приблизительного понимания ситуации проанализирована и представлена в таблице 2 общая статистика утилизации и переработки отходов в определенных производствах [5].

Таблица 2. Использование и обезвреживание отходов производства и потребления по видам экономической деятельности по Российской Федерации, млн тонн

Всего	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		1738,1	1 990,7	2 348,1	2 043,6	2357,2	2685,1	3243,7
из них по видам экономической деятельности:								
добыча полезных ископаемых	1562,2	1 800,1	2 125,9	1 753,1	2 165,7	2 473,3	2885,6	3021,8
в том числе:								
добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических	356,0	459,0	536,6	633,0	732,5	791,4	575,8	861,8
обрабатывающие производства	124,4	124,3	164,6	132,3	119,3	134,0	243,4	135,9
из них:								
целлюлозно-бумажное производство; издательская и полиграфическая деятельность	4,7	5,4	5,0	7,8	5,8	6,3	4,7	5,5
производство кокса и нефтепродуктов	1,1	1,1	0,8	0,5	0,5	0,5	180,5	405,6
химическое производство	3,7	12,1	2,5	2,4	1,6	4,4	4,3	22,1
металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	80,2	76,7	126,3	87,4	79,2	91,5	99,2	74,0

По данным международных отчетов и некоторых разработанных американскими и европейскими экологическими организациями пособий, рециркуляция, переработка и восстановление барита является нулевой. Однако из-за повышения цен на барит и затрат на его утилизацию растет интерес к разработке и внедрению недорогих технологий для вторичного использования отходов, содержащих барий и его соединения. Несмотря на то, что на настоящий момент таких технологий и разработок катастрофически мало, авторы данной работы нашли несколько перспективных технологий.

Первая разработка - это методика совместной утилизации отходов гальванических производств. Исследователем разработан способ совместной утилизации отходов гальванических производств с выделением гидроксида железа (III), сульфата бария и фосфата хрома (III) в качестве основных «товарных» продуктов. Очистку получаемых сточных вод предложено осуществлять с помощью ионообменных смол. Гальваношламы – отходы, образующиеся от процессов гальваноластики и

гальваностегии, и их утилизация по своей значимости следует непосредственно за утилизацией радиоактивных отходов. Для применения данной технологии необходимо:

– отработанный хромовый электролит (отход ванн хромирования) – используется при хромировании металлических изделий из различных сталей и сплавов;

– отход ванн оксидирования – используется при процессе оксидирования сталей, применяемом для создания защитной пленки на поверхности металла;

– отход хлорида бария после процесса отжига при получении спецсплавов;

– кальцинированная сода, пропитанная хромовым электролитом – применяется при засыпке проливов из гальванических ванн хромирования.

С помощью данной технологии растворяются отходы хлорида бария после отжига (с помощью оптимального объема воды, фильтр-пресса и реакторов), а затем получают сульфат бария. В реакторе проводят смешивание фильтрата после отделения фосфата хрома и фильтрата после растворения отходов отжига. Фильтрат №2 до-

бавляют в недостатке по отношению к фильтрату №1. При смешении двух растворов образовывается белый осадок сульфата бария, который отделяется на фильтр-прессе. После отделения сульфата бария получается сточная вода, загрязненная большим количеством солей, в том числе ионами тяжелых металлов. Для очистки воды от примесей применяют батарею из нескольких, идущих подряд, ионообменных колонн [6].

Еще одна технология, которая уже применяется на нефтяных месторождениях в России и на Ближнем Востоке, это использование центрифуги для вторичной переработки барита. Максимальная скорость вращения составляет 2200 об/мин, а максимальный коэффициент разделения - 1220. Центрифуга для рециркуляции барита также называется низкоскоростной центрифугой. Её разделительный коэффициент составляет 500-700. Для твердых частиц с низкой плотностью его точка разделения составляет 5-10 мкм. Для твердых частиц с высокой плотностью его разделительная точка составляет 4-7 мкм. Отделяемый центрифугой барит выгружается в резервуар для бурового раствора подлежащий извлечению, сначала жидкость сливается, а затем направляется насосом в высокоскоростную центрифугу; твердое вещество, отделенное от высокоскоростной центрифуги, выгружается из бака, а жидкость возвращается в систему рециркуляции [7].

Говоря о пробелах и барьерах существующих технологий восстановления и переработки, стоит иметь в виду экологические проблемы, присущие практически любому производству в настоящее время, а именно – недостаток ресурсов (вода, энергия).

Однако в контексте переработки баритовых отходов стоит обратить большее внимание на иные проблемы, не связанные с экологией, так как именно они, по представлению авторов, являются более значимыми на этом этапе. По причине того, что барит был включен в список критического сырья совсем недавно, наблюдается значительный недостаток разработок технологий переработки баритовых отходов.

Несмотря на имеющуюся информацию и статистику по бариту и его соединениям как критического сырья, научных исследований и технологий крайне мало. Что касается статистики и иной информации, это также является одной из проблем: во-первых, недостаточное количество показательных отчетов находятся в свободном доступе; во-вторых – крайне малое количество источников по использованию, переработке и утилизации барита и его соединений переведены на русский или с китайского на английский (авторы обращают внимание на китайский язык по причине того, что Китай является одним из лидеров по продаже переработанных цветных металлов, в т.ч. барита).

По причине новизны темы переработки бария и использования его отходов как вторичного производственного сырья, а также недостаточного уровня технологий переработки, авторами работы в данном разделе рассматриваются не возможные усовершенствования самих технологий переработки, а возможные решения экологических проблем при добыче и производстве с использованием баритовых продуктов. К таким проблемам относится недостаток энергетических и водных ресурсов.

Одним из интереснейших, но при этом простых способов решения проблемы потребления для добычи и переработки бария энергии является технология, разработанная Лоуренсом Кемболл-Куком, директором британской Pavegen Systems Ltd. Инженер создал тротуарную плитку, генерирующую электроэнергию из кинетической энергии гуляющих пешеходов. Устройство в инновационной плитке сделано из гибкого водонепроницаемого материала, который при нажатии прогибается примерно на пять миллиметров. Это, в свою очередь, создаёт энергию, которую механизм преобразует в электричество. Накопленные ватты либо сохраняются в литиевом полимерном аккумуляторе, либо сразу идут на освещение автобусных остановок, витрин магазинов и вывесок. Сама плитка Pavegen считается абсолютно экологически чистой: ее корпус изготовлен из нержавеющей

щей стали специального сорта и переработанного полимера с низким содержанием углерода. Верхняя поверхность изготовлена из использованных шин, благодаря этому плитка обладает прочностью и высокой устойчивостью к истиранию [8]. Установка такой плитки на заводах поможет предприятиям с помощью своих сотрудников создать необходимое для производства из барита продукции количество энергии.

Также интересно использование сточных вод. Любой крупный город ежедневно сбрасывает в открытые водоемы гигантское количество сточных вод, загрязняющих экосистему, но ученые открыли способ создавать на ее основе топливные элементы. Одним из пионеров идеи стал профессор Университета штата Пенсильвания Брюс Логан. Общая концепция построена на двух столпах – применении бактериальных топливных ячеек и установке так называемого обратного электролиза. Бактерии окисляют органическое вещество в сточных водах и производят в данном процессе электроны, создавая электрический ток. Для производства электричества может использоваться почти любой тип органического отходного материала. Что касается обратного электролиза, то здесь работают электрогенераторы, разделенные мембранами на ячейки и извлекающие энергию из разницы в солености двух смешивающихся потоков жидкости [9].

Проблема использования значительного количества водных ресурсов также решается. В США разработаны определенные технологии для очистки сточных вод и их возможного повторного использования не для питьевых целей, а на производстве: в

сельском хозяйстве, как охлаждающей воды для электростанций и нефтеперерабатывающих заводов, для строительных работ, уборки, смешивания бетона и т.д. Несмотря на то, что рециркуляция воды является устойчивым подходом и обладает экономическими выгодами в долгосрочной перспективе, для применения этих технологий на производствах необходима установка распределительных систем в централизованных установках, что значительно дороже по сравнению с такими альтернативами водоснабжения, как импортированная вода, грунтовые воды и т.д. [10].

Стоит также уделить внимание технологии Самарского национального исследовательского университета, который получил патент на установку, позволяющую получать воду из воздуха в засушливых и пустынных районах. Работа автономной энергонезависимой установки «Вихревой родник» основана на принципе конденсации. Атмосферный воздух содержит влагу, при его охлаждении влага конденсируется, в результате чего образуется чистая дистиллированная вода. Установка выполнена из пластмассы, ее высота составляет шесть-десять метров, диаметр – один-два метра. В течение суток «Вихревой родник» может производить около 0,8 кубометра чистой холодной воды. Вода, добываемая из атмосферы, по стоимости получается самой недорогой в сравнении с другими способами, а установка не требует средств на эксплуатацию. Необходимы лишь разовые минимальные вложения на ее сборку и монтаж. Функционирование установки благодаря естественным ресурсам – ветру и солнечной энергии – делает «Вихревой родник» полностью экологичным и работающим бесперебойно [11].

#### Библиографический список

1. *What are non-ferrous metals?* [Электронный ресурс]: Блог. — URL: <http://www.commissionoceanindien.org/archives/environment.ioonline.org/solid-waste-management/recycling-of-non-ferrous-metal.html> (дата обращения: 13.10.2018);
2. *Michalis Samouhos, Maria Taxiarchou* [Электронный ресурс]: D4.3 Circular Economy and zero waste aspects and business models of production. — URL: <http://screen.eu/wp-content/uploads/2018/07/D4.3-Circular-Economy-and-zero-waste-aspects-and-business-models-of-production.pdf> (дата обращения: 13.10.2018);
3. *Полный перечень классифицируемых* на сегодняшний день отходов [Электронный ресурс]: Блог. — URL: [http://pressmax.ru/klassifikator\\_othodov/full\\_list.php](http://pressmax.ru/klassifikator_othodov/full_list.php) (дата обращения: 13.10.2018);

ния: 13.10.2018);

4. *Mineral Commodity summaries*. US Department of the Interior, US Geological Survey. 2018;

5. *Федеральная служба государственной статистики* [Электронный ресурс]: Информационный портал — URL: [www.gks.ru](http://www.gks.ru) (дата обращения: 13.10.2018);

6. *Е.М. Красникова, Д.С. Поминов. Методика совместной утилизации отходов гальванических производств. Химия в нехимическом вузе, 2015.*

7. *Barite recycling centrifuge for sale* [Электронный ресурс]: Блог. – URL: <http://oilfield.gnsolidscontrol.com/barite-recycling-centrifuge-for-sale> (дата обращения: 13.10.2018);

8. *Как накопить и сохранить энергию из возобновляемых источников* [Электронный ресурс]: Блог. – URL: <https://econet.ru/articles/90946-kak-nakopit-i-sohranit-energiyu-iz-vozobnovlyaemyh-istochnikov> (дата обращения: 13.10.2018);

9. *10 альтернативных источников энергии, о которых вы ничего не знали* [Электронный ресурс]: Блог. — URL: <https://recyclemag.ru/article/10-neobychnyh-alternativnyh-istochnikov-energii> (дата обращения: 13.10.2018);

10. *Water Reuse and Recycling: Community and environmental benefits* [Электронный ресурс]: Блог. – URL: <https://www3.epa.gov/region9/water/recycling> (дата обращения: 13.10.2018);

11. *Самарские ученые запатентовали установку для получения воды из воздуха* [Электронный ресурс]: Новостной портал — URL: <https://ria.ru/studies/20181031/1531869636.html> (дата обращения: 13.10.2018).

## SECONDARY SOURCES OF BARIUM (BARITE) IN CIRCULAR ECONOMY IN THE CONTEXT OF WASTE-FREE PRODUCTION

**V.D. Alexandrova**, graduate student

**O.A. Abramova**, graduate student

**Samara national research university**  
(Russia, Samara)

**Abstract.** *In the article the author investigated secondary sources of barite, which was included in the list of critical raw material in 2017. The use of barium in the circular economy in the conditions of waste-free production implies the use of not only the primary sources of the metal, but also the secondary - barite industrial waste. The main secondary sources of barium, the level of processing and use in the production of processed barite raw materials have been identified.*

**Keywords:** *circular economy, sustainable development, circular economy of metals, non-waste production, barium, secondary sources of barium, barite.*