

## Выбор способа демеркуризации для последующего вторичного использования ртутьсодержащих отходов

*В.И. Беспалов, Н.С. Самарская, О.Н. Парамонова, Е.П. Лысова*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В статье рассмотрены актуальные вопросы утилизации ртутьсодержащих отходов. Проведен анализ возможности вторичного использования демеркуризованного стеклобоя при условии максимального извлечения ртутного концентрата. На основе физико-химических свойств ртути проведено сравнение двух способов демеркуризации, в ходе которого выявлено, что именно технология термической демеркуризации позволит снизить процент оставшейся ртути в стеклобое.

**Ключевые слова:** ртутьсодержащий отход, демеркуризация, стеклобой, люминесцентная лампа, утилизация отходов.

В настоящее время большинство технологических процессов сопровождаются образованием промышленных отходов, многие из которых являются опасными. К таким отходам в частности относят ртутьсодержащие: люминесцентные лампы, термометры, приборы и др. Так как ртуть относится к первому классу опасности, вопросы утилизации ртутьсодержащих отходов являются особенно актуальными. Эти проблемы возникают, как правило, на предприятиях, основным видом деятельности которых является сбор и утилизация ртутьсодержащих отходов. Для обезвреживания ртутьсодержащих отходов используют метод демеркуризации - извлечение ртути различными способами: физическими, химическими, механическими [1-3]. Так большинство технологий демеркуризации люминесцентных ламп на предприятиях позволяет получить на выходе стеклобой, в состав которого входят: металлы, свинцовое стекло, люминофор, мраморная мастика, ртуть (рис. 1).

Как видно из рис. 1, процент остаточной ртути в стеклобое составляет 1%, что является недопустимым для вторичного использования. В практике утилизации ртутьсодержащих отходов известны примеры вторичного использования демеркуризованного стеклобоя при условии максимально

---

ВОЗМОЖНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ РТУТНОГО КОНЦЕНТРАТА [4].

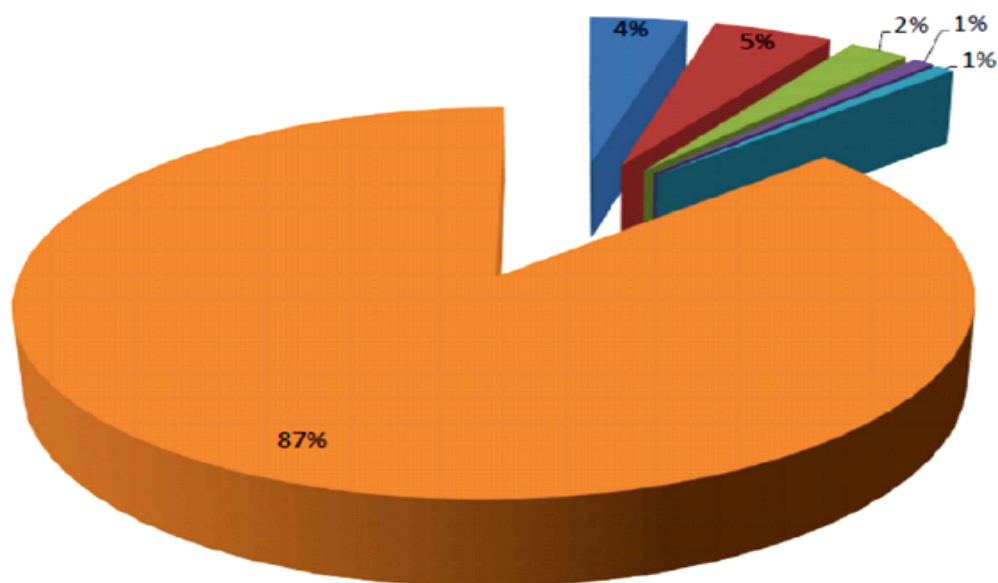


Рис. 1. – Состав ртутьсодержащего отхода (люминесцентной лампы)



Несмотря на многообразие способов демеркуризации ртутьсодержащих отходов наиболее целесообразной к применению, на наш взгляд, является термическая технология, основанная на возгонке ртути из смеси стеклянного и металлического лома и улавливанием конденсирующихся ртутных паров.

Для того чтобы выявить действительно ли термическая технология является предпочтительной, проведены аналитические исследования свойств ртутьсодержащих отходов. При изучении физико-химических свойств ртути, выявлено, что температура кипения ее составляет более  $356,73^{\circ}\text{C}$  (таблица №1). Именно при такой температуре возможно извлечение ртути, которая находится не в виде металла, а в виде атомов, поглощенным стеклом и люминофором.

Таблица № 1

## Физико-химические свойства ртути

№ п/п	Наименование физико-химического свойства ртути	Значение	Единицы измерения
1	Плотность ртути при нормальных условиях	13,546	г/м <sup>3</sup>
2	Температура плавления	-38,83	°С
3	Температура кипения	356,73	°С
4	Атомный вес	200,59	г/моль
5	Удельная теплоемкость	0,0334	Кал/г °С
6	Электронный потенциал	0,854	В
7	Удельная теплота плавления	2,295	кДж/моль
8	Удельная теплота испарения	58,5	кДж/моль

Нами проведено сравнение двух методов демеркуризации на основе рассмотрения этого процесса с химической точки зрения, в ходе которого выявлено, что в результате применения метода химической демеркуризации образуется химическое соединение  $HgCl_2$ , а в результате термической демеркуризации –  $Hg$  (пары ртути). При этом по данным многих исследований, количество оставшейся в стеклостружке ртути в результате термической демеркуризации составляет менее 2,1 мг/кг в отличие от метода химической демеркуризации (таблица № 2) [2, 5-7].

Таким образом, именно технология термической демеркуризации позволит снизить процент оставшейся ртути в стеклостружке. Такие же результаты можно получить при реализации «холодной и сухой» технологии, распространенной, в основном, в зарубежной практике.

Продукты, образующиеся в ходе термической демеркуризации (люминофор, цветные металлы и обогащенная стеклостружка) могут быть использованы вторично в различных производствах.

Таблица № 2

## Результаты сравнения двух методов демеркуризации

№ п/п	Название метода	Химическое описание процесса демеркуризации	Результат процесса	% оставшейся ртути в стеклобое
1	Химическая демеркуризация (гипохлоридом натрия)	$\text{Hg} + \text{NaOCl} + \text{NaCl} = \text{HgCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{NaOH}$	$\text{HgCl}_2$ – трудно-растворимое соединение в водном растворе	5-10 % (в обезвреженном стеклобое содержание ртути более 2,1 мг/кг)
2	Термическая демеркуризация (в шнековой трубчатой печи)	$\text{Hg} + t (500-550 \text{ }^\circ\text{C}) \rightarrow \text{Hg}\uparrow$	$\text{Hg}$ – пары ртути	1-2% (в обезвреженном стеклобое содержание ртути менее 2,1 мг/кг)

Нами проанализированы возможные пути использования таких продуктов термической демеркуризации в различных отраслях народного хозяйства (рис. 2). Так люминофор, который способен преобразовывать поглощаемую энергию в световую, можно использовать в качестве добавки к лакокрасочным материалам, а также как компонент при изготовлении светящейся пленки, светобумаги [8-9].

Переработанный цветной металл используют в виде сплавов при производстве деталей, инструментов, техники, емкостей и др.

Обогащенный стеклобой нашел свое применение в производстве керамических изделий, стекла и строительных материалов. Особенно широко используют стеклобой в качестве недорогого заполнителя при изготовлении мелкозернистого бетона [10-13].

Таким образом, несмотря на большое количество компонентов, из которых состоит ртутьсодержащий отход, правильно выбранный способ демеркуризации позволяет извлекать практически полностью ртутный



Рис. 2. – Возможные пути использования продуктов термической демеркуризации

концентрат, а также использовать очищенный от ртути люминофор, цветные металлы и стеклобой повторно при производстве различных изделий и материалов.

### Литература

1. Косорукова Н.В., Янин Е.П. Утилизация отходов ртутьсодержащих изделий: состояние и проблемы // Светотехника. 2002. № 3. С. 25-29.
2. Qi, C., Ma, X., Wang, M. and etc. A case study on the life cycle assessment of recycling industrial mercury-containing waste // Journal of Cleaner Production. 2017. № 161. Pp. 382-389.
3. Тиняков К.М., Косорукова Н.В., Тимошин В.Н. и др. Исследование

эффективности химических методов демеркуризации объектов городской среды // Инженерный вестник Дона, 2011, № 3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/455](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/455).

4. Картузов В.М., Шеманаев С. А. Утилизация ртутьсодержащих отходов // Экология и промышленность России, 2000. № 4. С. 14-16.

5. Шевцова Р.Г., Городов А.И. Демеркуризация энергосберегающих электроламп и вторичная переработка стеклобоя // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. 2015. С. 431-434.

6. Tikhonova L.A., Prusakova A.V. Problems of collection and disposal mercury-containing lamps // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2016. № 10. С. 239-242.

7. Месхишвили Н.З., Кравченко А.В. Утилизация ртутьсодержащих элементов как особый способ утилизации твердых бытовых отходов // Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и перспективы развития. 2017. С. 37-41.

8. Артемасов В.В., Мельман М.Г., Паскарь И.Н. Предпосылки для создания современного предприятия по переработке ртутьсодержащих отходов в Кемеровской области // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 4. С. 150-156.

9. Краснопевцева И.В., Мальцев С.А., Краснопевцева Е.А. и др. Экономическая выгода и экологическая проблема // Вестник НГИЭИ. 2014. №. 12 (43). С. 42-48.

10. Acuna Roncancio P.C, Meuret, Y., Deconinck, G. and etc. Spot phosphor concept applied to a remote phosphor light-emitting diode light engine // Optical Engineering. 2016. № 55 (11) URL: [doi.org/10.1117/1.OE.55.11.115103](https://doi.org/10.1117/1.OE.55.11.115103).

11. Нуруллина Е.Н. Проблема сбора и утилизации компактных люминесцентных ламп в малых населенных пунктах // Вестник Казанского

---

технологического университета. 2015. Т. 18. № 22. С 162-164.

12. Хвостиков А.Г. Современные способы защиты селитебных территорий от твердых отходов // Инженерный вестник Дона, 2012, № 4 (2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1318

13. Пузанов С.И., Кетов А.А. Комплексная переработка стеклобоя в производстве строительных материалов // Экология и промышленность России. 2009. № 12. С. 4-7.

14. Кузнецова Н.В., Селезнев А.Д., Селезнева И.А. Планирование экспериментальных исследований физико-механических свойств мелкозернистых бетонов с заполнителем из стеклобоя // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. 2017. С. 269-271.

### References

1. Kosorukova N.V., Yanin E.P. Cvetotekhnika. 2002. № 3. pp. 25-29.
2. Qi, C., Ma, X., Wang, M. and etc. Journal of Cleaner Production. 2017. № 161. pp. 382-389.
3. Tinyakov K.M., Kosorukova N.V., Timoshin V.N. i drugie. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2011/455.
4. Kartuzov V.M., Shemanaev S.A. Ehkologiya i promyshlennost' Rossii. 2000. № 4. pp. 14-16.
5. Shevcova R.G., Gorodov A.I. Energo- i resursosberegayushchie ehkologicheski chistye himiko-tekhnologicheskie processy zashchity okruzhayushchej sredy. 2015. pp. 431-434.
6. Tikhonova L.A., Prusakova A.V. Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. № 10. pp. 239-242.
7. Meskhishvili N.Z., Kravchenko A.V. Infrastrukturnye otrasli ehkonomiki: problemy i perspektivy razvitiya. 2017. pp. 37-41.
8. Artemasov V.V., Mel'man M.G., Paskar' I.N. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2017. № 4. pp. 150-156.



9. Krasnopenceva I.V., Mal'tsev S.A., Krasnopenceva Ye.A. i drugie. Vestnik NGIEHI. 2014. №. 12 (43). pp. 42-48.
10. Acuna Roncancio P.C, Meuret, Y., Deconinck, G. and etc. Optical Engineering. 2016. № 55 (11) URL: doi.org/10.1117/1.OE.55.11.115103.
11. Nurullina E.N. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2015. T. 18. № 22. pp. 162-164.
12. Hvoshtikov A.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 4 (2). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1318](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1318)
13. Puzanov S.I., Ketov A.A. Ehkologiya i promyshlennost' Rossii. 2009. № 12. pp. 4-7.
14. Kuznecova N.V., Seleznev A.D., Selezneva I.A. Ustojchivoe razvitie regiona: arhitektura, stroitel'stvo, transport. 2017. pp. 269-271.