

DOI 10.15593/2409-5125/2018.04.04

УДК 67.08

**П.А. Кетов, Ю.А. Кетов**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОТХОДОВ СТЕКЛА – КОМПОНЕНТА ТКО,  
КАК ОСНОВА ДЛЯ ВЫБОРА ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ**

Рассматриваются технические решения по извлечению, сортировке и переработке отходов стекла как компонента твердых коммунальных отходов. Концепция устойчивого развития предусматривает решение задачи создания инновационной технико-экономической системы, позволяющей минимизировать количество захораниваемых отходов, максимально обеспечив при этом ресурсосбережение, повторное вовлечение в хозяйственный оборот утилизируемых компонентов отходов в качестве сырья. Показано, что для вовлечения в ресурсный цикл отходы стекла должны проходить первичную обработку на мусоросортировочных предприятиях. Отходы стекла, входящие в состав ТКО, на сегодняшний день перерабатываются не в полной мере вследствие невысокой экономической целесообразности для мусоросортировочных предприятий извлечения несортного стекла, обладающего невысокой рыночной стоимостью. Ресурсный потенциал отходов стекла возрастает в ходе первичной обработки, в результате чего появляется возможность производства из отходов стекла вторичных материалов и различных целевых продуктов. Вторичное стекло без дополнительной очистки характеризуется геотехническим поведением, аналогичным поведению природных материалов. Материал отвечает требованиям природоохранных органов в отношении минеральных заполнителей, но такое применение весьма ограничено. Возможность производства из отходов стекла продуктов с высокой прибавочной стоимостью определяется типом и глубиной первичной переработки. Перспективным направлением применения несортного стеклобоя следует признать использование его в качестве сырья при производстве легковесных ячеистых материалов, вследствие того, что в этом случае производятся продукты с высокой прибавочной стоимостью, обусловленной, в свою очередь, востребованными потребительскими свойствами, такими как негорючесть, биопозитивность и долговечность.

**Ключевые слова:** отходы стекла, вторичное использование, ресурсный потенциал, экономическая целесообразность, сортировка отходов.

Исходя из современной концепции устойчивого развития, твердые коммунальные отходы должны не складироваться на полигонах, а быть источником вторичных ресурсов [1]. Распоряжение Правительства РФ от

---

Кетов П.А., Кетов Ю.А. Ресурсный потенциал отходов стекла – компонента ТКО, как основа для выбора экономически обоснованной технологии их переработки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 4. – С. 47–57. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.04.04

Ketov P., Ketov I. The resource potential of waste glass as a basis for the choice of economically effective technology of its processing. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 4. Pp. 47-57. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.04.04

28 декабря 2017 г. № 2970-р, вступившее в силу с 1 января 2018 г., предполагает постепенное повышение норматива утилизации отходов. Так, для изолирующих отходов стекла (листовое стекло) доля утилизируемого материала должна возрасти с 2018 по 2020 г. с 5 до 15 %, а для полого стекла (тарное стекло) соответствующий показатель должен возрасти с 15 до 25 %. В Постановлении Правительства РФ от 25 января 2018 г. № 84 утверждена Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г., в которой прямо ставится задача создания инновационной технико-экономической системы, позволяющей минимизировать количество захораниваемых отходов, максимально обеспечив при этом ресурсосбережение, повторное вовлечение в хозяйственный оборот утилизируемых компонентов отходов в качестве сырья.

Утилизируемые фракции ТКО, являющиеся вторичным ресурсом, могут быть переработаны в востребованные продукты на основании их ресурсного потенциала – присущих им физико-химических, структурно-механических и иных свойств, определяющих их потребительскую ценность и востребованность на рынке. Причем свойства любого компонента ТКО могут целенаправленно изменяться в процессе сбора, сортировки и первичной обработки. При этом процессы сортировки и переработки ТКО должны быть экономически эффективны, полученные целевые продукты сортировки должны обладать потребительскими свойствами, сопоставимыми с аналогами (или даже лучше), полученными из первичного природного сырья.

Вложения в каждую из стадий переработки ТКО по-разному влияют на рентабельность процесса в целом [2]. Часто линии сортировки ТКО становятся малоэффективными или убыточными вследствие некорректно выбранного технологического решения или несоблюдения режимов работы [3]. Очевидно, что сложнее решается задача вовлечения в ресурсный цикл компонентов ТКО, в случае если имеются недорогие аналоги конечных продуктов, полученные из первичного сырья. Именно к таким отходам относится стекло. В данной статье предполагается рассмотреть экономическую эффективность вовлечения в ресурсный цикл отходов стекла и целесообразность первичной обработки на мусоросортировочном предприятии таких отходов.

Среди причин низкого уровня переработки стекла в России экспертное сообщество часто указывает низкую продажную стоимость получаемого в процессе сортировки стеклобоя при больших капитальных вложениях в производство и эксплуатационных затратах, необходимых из-за

сложности технологического процесса. В результате экономика сортировки стекла оказывается низкорентабельной, а период окупаемости – слишком длительным [4].

Задача экономически эффективного вторичного использования компонентов ТКО осложняется в двух случаях. Во-первых, если сам по себе компонент ТКО из-за высокой себестоимости неконкурентоспособен по сравнению с аналогами, полученными из первичного сырья. Во-вторых, в случае низкой экологической опасности, что открывает возможность для его складирования на полигонах при минимальных затратах. Именно этими свойствами обладают отходы стекла. Материал имеет низкий класс опасности, и поэтому плата за негативное воздействие на окружающую среду является относительно невысокой. При этом не принимается во внимание высокая травмоопасность стекла, засорение окружающей среды и снижение емкости полигонов ТКО при размещении на них крупнотоннажных отходов стекла.

С учетом этого вовлечение в ресурсный цикл отходов стекла целесообразно по ряду причин:

- снижение рисков для населения и животных, связанных с высокой травмоопасностью отходов стекла, попадающих в окружающую среду;
- уменьшение ущерба технике от возможного неконтролируемого взаимодействия с отходами стекла;
- вторичное использование стеклобоя приводит к снижению общей массы отходов, попадающих на полигоны;
- снижение потребности в первичном сырье предприятий стекольной промышленности;
- производство из отходов стекла продуктов, конкурентоспособных по сравнению с аналогами, полученными из первичного природного сырья, имеющих спрос на рынке;
- применение вторичного стекла снижает потребление природных ресурсов, необходимых для получения минеральных инертных материалов типа щебня, гравия, песка, широко применяемых в строительной отрасли.

В этом случае отходы стекла, размещаемые вновь или находящиеся на полигонах ТКО, можно рассматривать как отложенные материальные и энергетические ресурсы, которые могут быть извлечены и переработаны, причем стекло выгодно отличается от других компонентов ТКО именно тем, что не разрушается со временем и сохраняет ценные потребительские свойства [5].

В случае сортировки ТКО их разделение на различные потоки ориентировано в первую очередь на выделение наиболее востребованных ком-

понентов ТКО, которые могут быть реализованы как вторичное сырье в различных процессах. Промышленная сортировка ТКО с использованием специализированного оборудования – мусоросортировочных линий, позволяет обрабатывать значительные объемы отходов и извлекать ощутимые объемы вторичных ресурсов, что описано в статье [6]. Однако эти же авторы оценивают содержание потенциально ценных компонентов ТКО в 42 %, а содержание фактически реализуемых видов вторичного сырья всего в 7,2 %, и стекло здесь не рассматривается. Причину такой ситуации можно понять на основании анализа таблицы в статье [6]. Мы приведем ее, дополнив расчетными данными.

Состав компонентов ТКО и средняя стоимость по данным [6] и доля дохода от каждого компонента ТКО на мусоросортирующем предприятии

Компонент ТКО	Цена вторичного сырья, руб./т	Доля компонента ТКО, мас. %	Доход от компонента с тонны ТКО, руб.	Доля дохода от компонента ТКО, %
Стекло	1500	10	150	8,5
Гофрокартон	6100	2	122	6,9
Бумага «микс»	6100	3	183	10,4
ПЭВД	8000	1,5	120	6,8
ПЭНД	8000	1,5	120	6,8
ПЭТ	19000	2	380	21,6
ПЭ-тара	25000	1	250	14,2
Металл цветной	38000	1	380	21,6
Металл черный	5500	1	55	3,1
<i>Итого</i>		23	1760	100,0

Из приведенных в таблице данных очевидно, что для мусоросортировочного предприятия наиболее целесообразно выделять из потока ТКО те компоненты, цена которых на рынке вторичных ресурсов относительно высока. В этом случае даже при невысокой доле компонента в потоке ТКО его выделение может принести ощутимую выгоду. Это положение не относится к стеклу вследствие невысокой цены на несортной стеклобой, выделяемый из общего потока ТКО. Однако использование несортной стеклобой может стать рентабельным при наличии надежных технологий переработки и получении продукта с высокой прибавочной стоимостью.

Другим решением может быть повышение ресурсного потенциала стекла, выделяемого из ТКО, за счет повышения его потребительских свойств – удаления примесей и сортировки по цвету. Рассмотрим влияние этих операций на стоимость операционных расходов и на увеличение рыночной цены товара.

В отличие от повсеместной в развитых странах практики отдельного сбора ТКО, в России в этом направлении проводятся только отдельные попытки. Тем не менее даже в некоторых из развитых стран есть перерабатываемые материалы, такие как упаковочное стекло, размещаемые в смешанных твердых коммунальных отходах. Стеклобой обычно выделяется из общего потока ТКО при первичной сортировке. В этом случае бумажные этикетки остаются на стекле, и количество органических бумажных примесей колеблется от 0,76 до 1,13 % [7].

Между тем, допустимое количество органических примесей в стеклобой, как и другие показатели, определяется ГОСТ Р 52233–2004 «Тара стеклянная. Стеклобой. Общие технические условия». Количество примесей группы Б, к которым относятся фольга, корковые пробки, бумага и др., для тары первого сорта не должно превышать 0,5 %. Таким образом, стеклобой, выделенный из ТКО на стандартном мусоросортировочном предприятии, должен обязательно проходить процедуру удаления грубых примесей, отмычки и сушки. Дополнительной проблемой являются климатические условия России: в зимний период отходы стекла обычно требуют разморозки и удаления замерзшей воды.

Все эти обстоятельства требуют дополнительных операционных затрат, в результате которых себестоимость стеклобоя, получаемого на мусоросортировочном предприятии, оказывается выше, чем цена материала, по которой готовы принимать чистый несортовой материал перерабатывающие предприятия. Тем не менее цифра в 1500–1700 руб./т оказывается ниже, чем средняя цена первичного стеклогранулята, получаемого на стекловых заводах варкой низкосортного стекла.

Для сбыта стеклобоя, полученного на мусоросортирующем предприятии, может быть два пути: повысить показатели материала путем дополнительной сортировки по маркам в соответствии с цветностью или найти потребителя на низкосортный стеклобой, который по цене ниже, чем первичный стеклогранулят или природный аналог. В последнем случае стеклобой в практическом плане должен соответствовать характеристикам заменяемого материала. Примером такого использования является замена минерального заполнителя в дорожном строительстве [8]. Вторичное стекло характеризуется геотехническими свойствами, аналогичными свойствам природных материалов, и отвечает требованиям природоохранных органов в отношении природных минеральных заполнителей. Таким образом, стеклобой может с успехом применяться в инженерно-геологических областях, в частности в дорожных одеждах. Рассматривалось применение отходов стекла и в качестве подстилающей основы для дорожного полотна [9], но

хрупкость стекла в сравнении с традиционным гранитным или доломитовым щебнем приводит к повышению травмоопасности персонала и повреждению полимерных и резиновых элементов механизмов.

Измельчение несортového стеклобоя до размеров менее 100 мкм позволяет с успехом применять полученный порошок в цементной промышленности в качестве мелкого заполнителя. Частичная замена песка на дробленое стекло в бетонах в ряде случаев позволяет не только предотвратить щелочно-силикатную реакцию в бетонах, но и повысить прочность получаемых изделий [10]. Так, например, прочность на изгиб и прочность на сжатие образцов с 20%-ным содержанием отходов стекла были на 10,99 и 4,23 % соответственно выше, чем параметры контрольных образцов в возрасте 28 сут. Тонко измельченное стекло помогло также уменьшить расширение на 66 % по сравнению с контрольной смесью в тестах на щелочно-силикатную реакцию.

Высокая инертность стекла как материала и его прочность позволяют применять его как фильтрационную и дренажную среду в ряде процессов вместо песка или антрацита [11].

В общем случае низкосортные отходы стекла с примесями органических соединений могут быть использованы как силикатная добавка при производстве керамических изделий. Органические примеси в этом случае окисляются до газообразных оксидов углерода еще на предварительной стадии нагрева изделий и не оказывают влияния на качество конечного продукта. Номенклатура получаемых керамических изделий и частные технологические решения в этом случае могут быть весьма разнообразными [12]. Единственным показателем, ограничивающим применение отходов стекла при производстве керамики, является высокое содержание оксидов щелочных и щелочноземельных металлов в стекле. Исключением в этом случае могут быть виды стеклокерамических материалов с высоким содержанием щелочных компонентов. Но это обычно наблюдается у низкотемпературных видов керамики. В этом направлении развиваются технологии, обеспечивающие производство ячеистых стеклокерамических материалов из отходов стекла [13, 14]. Повышает привлекательность таких производств и возможность выпуска товаров с увеличенной прибавочной стоимостью и широкой рыночной нишей [15], а также высокая экологическая безопасность и негорючесть получаемых материалов.

Во всех описанных случаях несортовой стеклобой, получаемый на мусоросортирующем предприятии, не может быть использован для подшивки и варки стекла вследствие неопределенной цветности и наличия примесей. Однако имеются технологии, позволяющие применять его в качест-

ве сырья в производстве различных материалов. В этом случае вторичное стекло конкурирует на рынке сырья со стандартным материалом – низко-сортным стеклогранулятом, примерная стоимость которого близка к стоимости несортного стеклобоя. Именно в невысокой рыночной цене состоит одна из причин низкой востребованности несортного стеклобоя. Действительно, при объективно сложившихся транспортных расходах в условиях России перевозка отходов стекла даже в ближайший субъект федерации увеличивает стоимость материала примерно в два раза. Несортной стеклобой перевозить невыгодно, и если его и возможно использовать в качестве сырья, то только в границах одного региона.

В результате оказывается, что необходимым условием для успешной реализации на рынке отходов стекла является мойка и дополнительная сортировка по цветам, повышающая закупочные цены на товар. Марочное стекло, разделенное в соответствии с цветностью, может быть реализовано уже по ценам 4,5–6,0 тыс. руб./т. В этом случае мойка, сушка и разделение по цветности потребует текущих затрат примерно 700–1200 руб./т, и экономическая целесообразность этих операций становится очевидна.

В основе технологий автоматической сортировки лежит использование сенсоров оптического определения материалов путем облучения потока отходов излучением с определенной длиной волны и последующего спектрального анализа отраженного от поверхности материала излучения [16]. Использование оборудования для автоматической сортировки материалов с системой оптического распознавания позволяет многократно увеличить скорость сортировки материалов по сравнению с ручным трудом и снизить удельные затраты на сортировку. В результате открывается возможность сортировать стеклобой по маркам цветности и получать потоки цветного стеклобоя по экономически приемлемой себестоимости.

Для потребителя марочного стекла – стекольных заводов, замена первичного сырья (кварцевого песка, соды, мела) имеет свои преимущества. Частичная замена шихты стекольным боем ускоряет процесс варки стекла, снижает удельный расход топлива, приводит к экономии щелоче-содержащего сырья и продлению срока службы стекловаренных печей [17]. Поэтому стекольные заводы охотно покупают марочный стеклобой, соответствующий ГОСТ Р 52233–2004 и по сложившейся на рынке цене.

Вопрос об организации на мусоросортирующем предприятии выделенного потока стеклобоя и дополнительной технологической обработке этого потока следует решать исходя из экономической целесообразности. Ключевыми показателями в анализе являются затраты на проведение технологических операций, которые сравниваются с затратами на аналогичные продук-

ты, востребованные на рынке. Так, на первом этапе сортировки, когда стеклобой просто отделяется от остального потока ТКО, полученный продукт представляет собой несортной стеклобой, соответствующий в лучшем случае второму сорту по ГОСТ Р 52233–2004. Единственной обязательной технологической операцией является дробление стеклобоя до фракции менее 20 мм с целью увеличения насыпной плотности и удобства транспортировки или дальнейших технологических операций. Получаемый продукт может конкурировать на рынке с низкосортным стеклогранулятом, но перспективы его сбыта весьма ограничены, как высокой себестоимостью в сравнении с более дешевыми аналогами, так и немногочисленностью технологий, где возможно использование данного вида сырья.

В том случае, если прогнозируемая себестоимость несортной стеклобоя оказывается выше, чем рыночная цена низкосортного стеклогранулята, следует рассмотреть возможность повышения сортности путем удаления примесей мойкой и дополнительной сортировкой стеклобоя по маркам цветности. Полученный после такого передела продукт востребован на стекольных заводах для подшихтовки при варке первичного стекла, и перспективы сбыта этого более качественного продукта определяются сопоставлением себестоимости получаемого при сортировке цветного стекла и сложившихся на рынке цен на аналогичный продукт или на соответствующее первичное стекло.

Таким образом, отходы стекла, входящие в состав ТКО, на сегодняшний день не в полной мере вовлекаются в ресурсный цикл вследствие невысокой экономической целесообразности для мусоросортировочных предприятий извлечения несортной стекла, обладающего невысокой рыночной стоимостью первичного продукта – низкосортного стеклогранулята. Применение стеклобоя как вторичного сырья в этом случае ограничивается применением стекла как заполнителя в бетонах либо одного из компонентов в сырье для стеклокерамических изделий.

Другим возможным направлением получения из отходов стекла вторичного сырья может быть повышение ресурсного потенциала отходов стекла за счет повышения качества и дополнительной сортировки для возможности производства марочного по цветности стеклогранулята, который используется на стекольных заводах. Перспективным направлением применения несортной стеклобоя также следует признать использование его в качестве сырья при производстве легковесных ячеистых материалов, поскольку в этом случае производятся продукты с высокой прибавочной стоимостью, обусловленной востребованными потребительскими свойствами, такими как негорючесть, биопозитивность и долговечность.



## Библиографический список

1. Теличенко В.И. От принципов устойчивого развития к «зеленым» технологиям // Вестник МГСУ. – 2016. – № 11. – С. 5–6.
2. Chifari R., Lo Piano S., Matsumoto S., Tasaki T. Does recyclable separation reduce the cost of municipal waste management in Japan? // *Waste Management*. – 2017. – Vol. 60, iss. 2. – P. 32–41.
3. Управление отходами. Сбор, транспортирование, прессование, сортировка твердых бытовых отходов: моногр. / Я.И. Вайсман [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 236 с.
4. Трофимов Г.В. Профессиональные секреты переработки стеклобоя // Твердые бытовые отходы. – 2017. – № 10. – С. 22–26.
5. Слюсарь Н.Н. Возможности извлечения отложенных ресурсов из массивов захоронения твердых коммунальных отходов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 1. – С. 63–78.
6. Ильиных Г.В. Процент отбора вторичного сырья при сортировке твердых бытовых отходов: расчетный и фактический // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 4. – С. 115–126.
7. Recovery of glass from the inert fraction refused by MBT plants in a pilot plant / N. Dias, I. Garrinhas, A. Maximo, N. Belo, P. Roque, M.T. Carvalho // *Waste Management*. – 2015. – Vol. 46, № 12. – P. 201–211.
8. Recycled crushed glass in road work applications / M.M. Disfani, A. Arulrajah, M.W. Bo, R. Hankour // *Waste Management*. – 2011. – Vol. 31, iss. 11. – P. 2341–2351.
9. Meland I., Dahl P.A. Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability // *Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee, UK*. – P. 167–177.
10. Ismail Z.Z., AL-Hashmi E.A. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete // *Waste Management*. – 2009. – Vol. 29, iss. 2. – P. 655–659.
11. Dawe A., Ribbans E. An integrated approach to market development for glass cullet // *Sustainable Waste Management: Proceedings of the International Symposium 9–11 September 2003, Dundee, UK*. – P. 135–145.
12. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000–2015 / N.V. Boltakova, G.R. Faseeva, R.R. Kabirov, R.M. Nafikov, Yu.A. Zakharov // *Waste Management*. – 2017. – Vol. 60, iss. 2. – P. 230–246.
13. Vaisman I., Ketov A., Ketov I. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam // *Ceramics International*. – 2016. – Vol. 42. – P. 15261–15268.
14. Ketov A. Glass cullet: a hard way for cellular glass from useless waste / *OmniScriptum GmbH & Co.* – 2017. – 61 p.
15. Кетов А.А., Толмачев А.В. Пеностекло – технологические реалии и рынок // *Строительные материалы*. – 2015. – № 1. – С. 17–23.
16. Оптико-механическая сортировка отходов: перспективы использования / Г.В. Ильиных, Д.Л. Борисов, Ю.В. Куликова, В.Н. Коротаев // *Твердые бытовые отходы*. – 2013. – № 10 (88). – С. 35–39.
17. Чупрова Л.В. Отходы производства и потребления стекла как сырье для получения качественной продукции // *International journal of applied and fundamental research*. – 2016. – № 12. – С. 640–644.

## References

1. Telichenko V.I. Ot printsipov ustoichivogo razvitiya k «zelenym» tekhnologiyam [From the principles of sustainable development to “green” technologies]. *Vestnik MGSU*, 2016, no. 11, pp. 5-6.
2. Chifari R., Lo Piano S., Matsumoto S., Tasaki T. Does recyclable separation reduce the cost of municipal waste management in Japan? // *Waste Management*. 2017, vol. 60, iss. 2, pp. 32-41.
3. Vajsman Ja.I. Upravlenie othodami. Sbor, transportirovanie, pressovanie, sortirovka tverdyh bytovykh othodov [Waste management. Collection, transportation, pressing, sorting of solid domestic waste]. Perm, 2012, 236 p.

4. Trofimov G.V. Professional'ny'e sekrety' pererabotki stekloboya [Professional secrets of glass cullet reusing]. *Municipal solid waste magazine*, 2017, no. 10, pp. 22-26.

5. Slyusar N. Vozmozhnosti izvlecheniya otlozhenny'x resursov iz massivov zaxoroneniya tverdy'x kommunal'ny'x otxodov [Possibilities for mining of delayed resources on municipal solid waste dumps and landfills]. 2016, no. 1, pp. 63-78.

6. Ilinykh G.V. Procent otbora vtorichnogo sy'r'ya pri sortirovke tverdy'x by'tovy'x otxodov: raschetny'j i fakticheskiy [Recyclable recovery rate when household waste sorting: estimated and real]. 2014, no. 4, pp. 115-126.

7. Dias N., Garrinhas I., Maximo A., Belo N., Roque P., Carvalho M. T. Recovery of glass from the inert fraction refused by MBT plants in a pilot plant // *Waste Management*. 2015, vol. 46, no. 12, pp. 201-211.

8. Disfani M.M., Arulrajah A., Bo M.W., Hankour R. Recycled crushed glass in road work applications. *Waste Management*. 2011, vol. 31, iss. 11, pp. 2341-2351.

9. Meland I., Dahl P.A. Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability. *Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium*, 19-20 March 2001, Dundee UK. P. 167-177.

10. Ismail Z.Z., AL-Hashmi E.A. Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete. *Waste Management*. 2009, vol. 29, iss. 2, pp. 655-659.

11. Dawe A., Ribbans E. An integrated approach to market development for glass cullet. Sustainable Waste Management: Proceedings of the International Symposium 9-11 September 2003, Dundee UK. P. 135-145.

12. Boltakova N.V., Faseeva G.R., Kabirov R.R., Nafikov R.M., Zakharov Yu.A. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000–2015. *Waste Management*. 2017, vol. 60, iss. 2, pp. 230-246.

13. Vaisman I., Ketov A., Ketov I. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam. *Ceramics International*. 2016, vol. 42, pp. 15261-15268.

14. Ketov A. Glass cullet: a hard way for cellular glass from useless waste. OmniScriptum GmbH & Co. 2017, 61 p.

15. Ketov A.A., Tolmachev A.V. Penosteklo – texnologicheskie realii i ry'nok [Technological realities and the market of foamed glass-]. 2015, no. 1, pp. 17-23.

16. Il'inyh G.V., Borisov D.L., Kulikova Yu.V., Korotaev V.N. Optiko-mexanicheskaya sortirovka otxodov: perspektivy' ispol'zovaniya [Prospects for using of the optical-mechanical sorting of waste]. *Construction materials*, 2013, no. 10 (88), pp. 35-39.

17. Chuprova L.V. Otxody' proizvodstva i potrebleniya stekla kak sy'r'e dlya polucheniya kachestvennoj produkcii [Production wastes and glass consumption as raw materials for receipt of high-quality products]. *International journal of applied and fundamental research*, 2016, no. 12. pp. 640-644.

Получено 19.02.2018

## THE RESOURCE POTENTIAL OF WASTE GLASS AS A BASIS FOR THE CHOICE OF ECONOMICALLY EFFECTIVE TECHNOLOGY OF ITS PROCESSING

The engineering solutions for the extraction, sorting and recycling of waste glass as a component of municipal solid waste are discussed. It is shown that waste glass must undergo primary treatment at waste sorting plants to be involved in the resource cycle. Such primary processing leads to the increasing of the resource potential of waste glass and make it possible to produce secondary materials and various target products out of the waste glass. The possibility of manufacturing glass products with high surplus value out of waste glass is determined by the type and depth of primary processing.

**Keywords:** waste glass, recycling, resource potential, economic feasibility, waste sorting.

**Кетов Петр Александрович** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: 347911kra@gmail.com).

**Кетов Юрий Александрович** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ketov1992@list.ru).

**Ketov Petr** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student of Department Environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: 347911kra@gmail.com).

**Ketov Iurii** (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student of Department Environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: ketov1992@list.ru).