

УДК 504.06

**Н. В. Мархель, Л. Л. Масленникова, Н. А. Бабак**

Петербургский государственный университет путей сообщения

## **ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

Исследована возможность применения строительных отходов в обжиговых технологиях для получения строительной керамики, разработаны составы безобжиговых композиционных материалов на основе цементного связующего. Дана геоэкологическая оценка эффективности использования строительных отходов в технологиях с применением интегрального метода оценки антропогенного воздействия на окружающую среду.

строительные отходы, керамический кирпич, композиционные жаростойкие материалы, пенобетон, безобжиговая фасадная плитка, антропогенное воздействие, геоэкологическая оценка.

### **Введение**

В настоящее время ускоренными темпами развивается гражданское строительство. Из числа введённых в действие зданий 94,2% составляют здания жилого назначения. Эти цифры с каждым годом растут. Ежегодно из-за сноса ветхого жилья в Санкт-Петербурге появляется более 3 млн т строительного мусора [1]. Возникает проблема складирования, вывоза и утилизации строительных отходов. К ним относятся твердые минеральные отходы (керамзит, керамика, асбоцемент, гипс, бой бетона, кирпича), древесина и другие материалы, применяющиеся в строительстве. Эти отходы приравниваются к классу опасности V. Часто строительный мусор просто вывозится на ближайшую свалку. Такая практика не может поощряться, на сегодняшний день городские свалки заполнены на 90%, вывозить строительный мусор становится дорого, да и некуда. В то же время строительные отходы можно перерабатывать, экономя огромные государственные средства и попутно избегая загрязнения окружающей среды.

Исследование данного аспекта является перспективным, так как в настоящее время в России все больше внимания уделяется за-

щите окружающей среды и охране здоровья человека.

## **1 Образование строительных отходов**

### **1.1 Что такое строительные отходы**

Согласно терминам и определениям, используемым в правилах обращения со строительными отходами в Санкт-Петербурге, утвержденных Администрацией Санкт-Петербурга распоряжением от 15 мая 2003 г. № 1112-ра (с изменениями на 14 декабря 2006 г.), строительные отходы – это отходы, образующиеся в процессе сноса, разборки, реконструкции, ремонта (в том числе капитального) или строительства зданий, сооружений, промышленных объектов, дорог, инженерных коммуникаций.

Отходами промышленности строительных материалов являются цементная пыль, каменная пыль и крошка, кирпичный бой, бракованный и старый бетон, асфальтобетон, керамзит, рубероид, утеплитель, щебень, раствор, стекло и т. д. Отходы бетона и железобетона, кроме бетонного лома, содержат миллионы тонн металлов. Образуются

отходы пиломатериалов, черных и цветных металлов, огарки и остатки сварочных электродов, тара.

## **1.2 Получение вторичного щебня из строительных отходов**

Переработка отходов во вторичный щебень различных фракций производится при помощи мобильного дробильно-сортировочного комплекса производительностью до 1000 т/ч. Дробильно-сортировочный комплекс можно транспортировать отдельными частями к месту, где идут демонтажные работы. Вторичное использование строительных отходов, по сути, представляет собой безотходное производство. Попадая на специальный полигон, строительный мусор вторично перерабатывается. Производится дробление строительных отходов, что позволяет измельчить бой бетонных, кирпичных и железобетонных изделий. Дробление строительных отходов приводит к тому, что от мусора отделяется металл (при помощи специальных технологий), а остальной мусор перерабатывается в щебень.

В результате переработки строительного мусора можно получить вторичный щебень и использовать его в дальнейшем строительстве, тем самым снизив затраты на покупку стройматериалов, так как вторичный щебень стоит значительно дешевле первичного и может использоваться для укрепления слабых грунтов, а также при отсыпке временных дорог.

## **1.3 Постановка цели и задач исследования**

В настоящее время проблема переработки строительного мусора – задача государственного уровня. Мы можем наблюдать строительный мусор, выброшенный на лесопосадках или среди бытовых отходов. Средний состав мусора (ТБО) в нашей стране имеет некоторые отличия от других стран: в нем велико содержание строительных отходов (около 10%). Тем не менее переработка отходов в России становится требованием времени, поскольку вторичное использование строи-

тельных отходов решает сразу несколько задач: защиты окружающей среды, утилизации отходов и снижения стоимости строительных материалов.

Целью авторов статьи является разработка составов строительных материалов на основе строительных отходов по обжиговым и безобжиговым технологиям и геоэкологическая оценка предложенных технологий.

Для этого необходимо:

- проанализировать опыт вторичного использования строительных отходов в России и за рубежом и определить наиболее перспективные направления;
- исследовать строительные отходы Санкт-Петербурга и области;
- разработать составы строительных материалов на основе строительных отходов по обжиговым и безобжиговым технологиям;
- дать геоэкологическую оценку предложенных технологий.

## **2 Разработка ресурсосберегающих технологий получения строительных материалов с использованием строительных отходов**

### **2.1 Краткий обзор мирового опыта вторичного использования строительных отходов**

Одним из основных источников многотоннажных отходов является промышленность строительных материалов. В Западной Европе проблема переработки строительных отходов изучается и решается совместно государственными органами, промышленными предприятиями и общественностью. На душу населения там приходится 0,7–1,0 т строительного мусора в год. Ежегодно в современном мире количество строительных отходов увеличивается на 2,5 млрд т [2], что пагубно влияет на экологию Земли, – к такому выводу пришли специалисты из Европейской ассоциации, в которую входят компании по сносу зданий, именно они занимались подсчетом общего количества строительного мусора.

В европейских странах и в Америке проблема утилизации отходов уже давно решается на государственном уровне: в некоторых странах вообще запрещены строительные свалки, а в США и Канаде они ещё существуют, но стоимость вывоза туда таких отходов значительно превышает стоимость их переработки, поэтому отходы дешевле перерабатывать, чем вывозить. В зависимости от страны, вида лома и месторасположения свалки вывоз 1 т строительного мусора обходится от 4 до 150 евро.

В большинстве государств уже сейчас доля переработки строительных отходов составляет в среднем около 50% от общего объема производства стройматериалов. За счет совершенствования технологий и законодательства смогли достигнуть очень высокого уровня переработки строительных отходов такие страны, как Дания, Голландия, Швеция, где в настоящее время перерабатывают более 90% отходов. Сегодня практически во всех европейских странах демонтаж и переработка строительного мусора – очень выгодный бизнес.

Более тридцати лет в Европе действует Ассоциация по сносу зданий (*European Demolition Association*), которая объединяет фирмы из 17 стран мира. Основные задачи ассоциации – обмен опытом в области сноса строений, переработки строительного мусора и донесение проблем и возможностей технологии переработки до правительства и общественности. В среднем по странам ЕС ежегодные отходы при строительстве, реконструкции и сносе отслуживших свой срок зданий составляют около 1 т на каждого жителя. В Великобритании с целью сохранения природных ресурсов и стимулирования рециклинга введен налог на применение каждой тонны природного заполнителя («первичного сырья») в размере 1,6 фунта стерлингов. В Нидерландах уже около 10 лет действует закон, запрещающий свозить на полигоны строительные отходы, которые можно переработать.

Таким образом, в большинстве стран Европы уровень переработки строительных отходов достаточно высок. Так, в Нидерландах

на повторное использование идет около 90% строительных отходов, в Бельгии – 87%, в Дании – 81%, в Великобритании – 45%, в Финляндии – 43%, в Австрии – 41%.

## 2.2 Обращение со строительными отходами в России

В России ежегодно образуется 15–17 млн т строительных отходов, 60% которых составляют кирпичные и железобетонные отходы [2]. Темпы роста объемов строительных отходов составляют 25% в год. В России только в последние несколько лет строительные компании начинают использовать в своей деятельности строительные отходы. Например, вторичный щебень при небольшой стоимости обладает всеми качествами отличного строительного материала. Наиболее распространенная и дешевая несортированная фракция – 0–150 мм. На рынке имеются и «стандартные» фракции вторичного щебня – 5–20, 20–40, 40–70. Потребность в использовании вторичного щебня постоянно увеличивается, расширяются и сферы его применения. Как показывает практика, переработка бетона во вторичный щебень позволяет использовать до 80% от общего объема строительного мусора. При этом получается недорогое сырье для производства новых бетонных изделий и строительства дорог.

Строительные отходы используют при производстве портландцемента, заполнителей для бетонов, минерального наполнителя, добавок, смешанных вяжущих веществ и т. д. Сфера применения строительных отходов довольно обширна:

- обустройство щебеночных оснований под полы и фундаменты зданий, под асфальтобетонные покрытия дорог;
- отсыпка временных дорог;
- подсыпка под тротуарные дорожки, под автостоянки и асфальтированные площадки;
- при производстве бетонных и железобетонных изделий в качестве крупного заполнителя в бетонах прочностью 5...20 МПа;
- для замены грунта при засыпке;
- под фундаментное основание;
- в ландшафтной архитектуре.

### 2.3 Физико-химические исследования строительных отходов, образующихся в Санкт-Петербурге и области

Первостепенное значение для производства строительных материалов имеют минеральные отходы, так как их больше и они лучше изучены. Большая часть минеральных отходов состоит преимущественно из силикатов и алюмосиликатов кальция и магния. Это объясняется тем, что 86,5% массы земной коры составляют природные силикаты.

Было исследовано несколько проб строительных отходов в виде вторичного щебня фракции 0–150 мм на различных площадках города. Процентное соотношение минеральных веществ, входящих в состав вторичного щебня, составило:

щепа, пенопласт, волокна утеплителя (стекловата) – 1%;

шлак из шлакобетона – 12%;

кирпич – 12%;

шлакобетон + бетон – 75%.

Как видно из обзора, вторичный щебень фракции менее 5 мм нигде не используется и максимальное негативное действие на окружающую среду в виде запыленности приносит именно эта фракция. Поэтому вторичный щебень был отсеян на сите 5 мм и был определен модуль крупности полученного отсева. Оставшийся крупный щебень был исключен из рассмотрения, так как он может быть использован для других целей в качестве вторичного сырья.

Модуль крупности отсева составил  $M_{кр} = 2,7$  (табл. 1), что сопоставимо с модулем крупности среднего и крупного песка, используемого при производстве строительного керамического кирпича. Фракция, прошедшая через сито № 0,16, в процентном соотношении составляет 11,5% и факти-

чески представляет собой пыль. Фракции 0–20 мм и 0–150 мм, особенно пылеватая, представленная силикатами, алюмосиликатами и гидросиликатами кальция и магния, при использовании в строительных работах загрязняют атмосферу, почву, а вместе с ней и грунтовые воды, ухудшают условия работы и представляют большую опасность для здоровья людей, так как могут вызвать силикоз легких.

Изъятие из вторичного щебня и утилизация фракции 0–5 мм позволит снизить антропогенное воздействие строительных отходов на окружающую среду.

### 2.4 Разработка составов обжиговых композиционных материалов с использованием строительных отходов

Учитывая, что минеральные строительные отходы по своему химическому составу и техническим свойствам близки к природному сырью, а иногда имеют и ряд преимуществ (предварительная термическая обработка, повышенная дисперсность и др.), применение строительных отходов в производстве строительных материалов является одним из основных направлений снижения материалоемкости производства.

Учитывая проведенные ранее исследования на кафедре «Инженерная химия и естествознание» [3, 4], при изготовлении керамического кирпича для замены природного отощителя, кварцевого песка использовался отсев вторичного щебня. Были исследованы различные составы керамического кирпича и выбрано рациональное содержание глины (70%) и отсева вторичного щебня (30%). Физико-механические характеристики образцов разработанного состава с температурой обжига 980 °С представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 1. Определение модуля крупности отсева вторичного щебня

Остатки, % по массе, на ситах №					Проход через сито с сеткой № 016, % по массе	Модуль крупности $M_{кр}$
2,5	1,25	0,63	0,315	0,16		
19,5	17,7	16,6	16,7	18,0	11,5	2,7

В кирпичном производстве с рабочей температурой до 1000 °С вместо огнеупорных целесообразно применять высокотехнологичные жаростойкие композиционные материалы, которые не требуют использования сложного оборудования и просты в приготовлении, а также характеризуются достаточной термостойкостью, прочностью и пониженным коэффициентом теплопроводности. Основываясь на более ранних исследованиях [5, 6], с использованием отсева вторичного щебня из строительных отходов были разработаны составы сухой

жаростойкой смеси и технологии получения на ее основе жаростойких материалов для ремонтных работ на кирпичных заводах. Физико-механические характеристики образцов кладочного раствора и теплоизоляционной смеси представлены в табл. 3.

Жидкостью затворения для кладочных растворов служила вода, для термоизоляционной смеси – жидкое натриевое стекло. Твердение образцов размером 100×100×100 мм происходило при нормальных условиях с последующей сушкой при температуре 130 °С, обжиг – при температуре 1000 °С.

ТАБЛИЦА 2. Физико-механические характеристики лабораторных образцов опытного кирпича в сравнении с контрольными

Состав, масс. %	Ср. плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэф. теплопроводности, Вт/(м·К)	Предел прочности, МПа		Коэффициент конструктивного качества	Водопоглощение, %	Морозостойкость, F циклы
			при изгибе	при сжатии			
<b>Контрольный состав:</b> Глина – 70 Песок – 30	1,8	0,342	Ср. 3,9 Мин. 2,9	Ср. 19,2 Мин. 14,6	10,7	8,1	50
<b>Опытный состав:</b> Глина – 70 Отсев – 30	1,71	0,338	Ср. 5,2 Мин. 3,06	Ср. 22,4 Мин. 15,5	13,1	13,5	50

ТАБЛИЦА 3. Физико-механические характеристики жаростойких композиционных материалов, полученных на основе отсева

Жаростойкие композиционные материалы	Состав, масс. %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
			после сушки	после обжига	
1. Контрольный кладочный раствор	Глина – 40	1,90	1,0	5,1	0,26
	Песок – 60				
2. Разработанный кладочный раствор на основе отсева	Пресс-порошок – 25	1,45	1,5	7,9	0,24
	Отсев – 73				
	Силикат-глыба – 2				
3. Термоизоляционная смесь	Пресс-порошок – 26	1,4	2,0	7,8	0,23
	Отсев – 74				



## 2.5 Разработка составов безобжиговых композиционных строительных материалов на основе отсева вторичного щебня с использованием цементного связующего

Учитывая уменьшение выбросов загрязняющих веществ во все пределы биосферы – воду, почву и воздух как одну из основных задач современного технического развития, предложено использование энергии самопроизвольно протекающих реакций взамен энергии сжигания топлива. Иными словами, предлагается получение строительных изделий безобжиговым способом с использованием цементного вяжущего, но с добавлением глины как для придания пластичных свойств массе, так и для достижения высоких значений прочности при изгибе. В качестве глиносодержащего компонента в этом случае более всего подходят пресспорошки на основе кембрийских глин, поскольку тонкость помола таких пресспорошков сопоставима с тонкостью помола цемента и нередко даже более высокая, кроме того, они достаточно хорошо окрашиваются минеральными пигментами. При вводе в композиционную смесь тонкодисперсного глиносодержащего компонента можно предположить также, что деформационные характеристики материала улучшатся за счет изменения структурного мотива контакта на границе раздела фаз [7] и роста количества контактов.

С учетом вышеперечисленного была разработана технология получения фасадной безобжиговой плитки, имитирующей керамику или природный камень, на основе глиносодержащей вяжущей смеси, в состав которой включены следующие мелкодисперсные компоненты: цемент М400... М550, железосодержащий пигмент, пресспорошок на основе кембрийской глины. В качестве заполнителя был опробован отсев вторичного щебня от строительных отходов с  $M_{кр}$  от 1 до 3.

Исследование физико-механических характеристик полученной фасадной плитки производилось на образцах-балочках  $160 \times 40 \times 40$  мм как при нормальном твердении, в возрасте 28 суток, так и после про-

паривания при  $t_{max} = 75$  °С в разном возрасте. По физико-механическим показателям материалы, изготовленные из таких масс, приближаются к фасадным облицовочным изделиям, т. е. обладают морозостойкостью не менее F35, водопоглощением не более 10% и высокой прочностью при изгибе (2,5–4,8 МПа).

По результатам исследований для разработанных составов безобжиговой фасадной плитки рекомендовано нормальное твердение в течение 28 суток, поскольку к этому времени в основном проходят процессы фазообразования таких минералов, как ксонотлит и тоберморит, которые были идентифицированы рентгенофазовым и дифференциально-термическим анализами, а материал набирает необходимую прочность и морозостойкость.

С целью расширения сферы использования отсева вторичного щебня он был подвергнут помолу до остатка на сите № 0,14 не более 1%. Тонкомолотый отсев был опробован в качестве замены природного песка при получении пенобетона плотностью D600–D800. Прочность при изгибе составила 0,8–1,3 МПа, прочность при сжатии – 1,0–1,5 МПа. Также были получены с использованием отсева кладочные растворы М200.

## 3 Оценка геоэкологической эффективности разработанных технологий с применением интегрального метода

### 3.1 Геоэкологическая оценка получения строительных обжиговых материалов с использованием отсева вторичного щебня

С целью геоэкологической оценки использования строительных отходов был применен интегральный метод оценки антропогенного воздействия на окружающую среду. Этот метод заключается в том, что антропогенное воздействие рассматривается в рамках 100-балльной шкалы. Наименьшему влиянию

присваивается значение 1, а наибольшему – 100. Антропогенное воздействие выражается показателем негативного воздействия ( $\Pi_{\text{нв}}$ ) [8], который базируется на оценке  $IEQ$  и является ее обратным значением. Было оценено использование отсева строительных отходов от разборки зданий в обжиговом производстве.

В качестве объекта исследования была выбрана технология получения керамического кирпича с техногенным отходом в качестве отощителя – отсевом строительных отходов от разборки зданий и традиционная технология получения керамического кирпича, где в качестве отощителя используется природный песок.

Выбраны аспекты сравнения объектов исследования: экологический аспект ( $j = 1$ ); технологический аспект ( $j = 2$ ); эксплуатационный аспект ( $j = 3$ ). Определена значимость  $Z_j$  аспектов:  $Z_1 = 50\%$  – для экологического аспекта;  $Z_2 = 25\%$  – для технологического аспекта;  $Z_3 = 25\%$  – для эксплуатационного аспекта.

Для каждого аспекта сравнения объектов исследования выбирался перечень свойств, описывающих исследуемый объект в рассматриваемом аспекте. Определена значимость свойств каждого аспекта.

В качестве  $k$ -го свойства ( $j = 1$ ), описывающего исследуемые объекты в экологическом аспекте, были выбраны следующие:

- высвобождение земель, занятых под складирование отходов ( $k = 1$ );
- уменьшение загрязнения биосферы пылевой фракцией ( $k = 2$ );
- экономия природных ресурсов ( $k = 3$ ).

Значимость  $k$ -го свойства ( $j = 1$ ) в рассматриваемом экологическом аспекте приняли:  $Z_{1,1} = 30\%$  – для освобожденных зе-

мель;  $Z_{1,2} = 35\%$  – для уменьшения загрязнения биосферы пылевой фракцией;  $Z_{1,3} = 35\%$  – для экономии природных ресурсов.

В качестве  $k$ -го свойства в рассматриваемом технологическом аспекте ( $j = 2$ ) были выбраны следующие показатели и определена их значимость:  $Z_{2,1} = 50\%$  – доступность сырья, используемого в качестве отощителя;  $Z_{2,2} = 50\%$  – необходимость дополнительной переработки.

В качестве  $k$ -го свойства эксплуатационного аспекта ( $j = 3$ ), выбираем следующие:

- коэффициент конструктивного качества ( $k = 1$ );
- предел прочности при сжатии ( $k = 2$ );
- предел прочности при изгибе ( $k = 3$ );
- водопоглощение ( $k = 4$ ).

Значимость  $k$ -го свойства в рассматриваемом эксплуатационном аспекте ( $j = 3$ ) принимаем равной 25% для каждого из свойств:  $Z_{3,1} = Z_{3,2} = Z_{3,3} = Z_{3,4} = 25\%$ .

Определен индекс  $IEQ_{jk}^n$  для каждого из рассматриваемых свойств определенного аспекта для всех объектов и  $\Pi_{\text{нв}}$  для каждого аспекта. Результаты представлены в табл. 4.

Анализируя полученные показатели, можно сказать, что разработанная технология получения керамического кирпича с отсевом вторичного щебня строительных отходов в качестве отощителя имеет заметно меньший показатель негативного воздействия по сравнению с традиционной технологией получения керамического кирпича.

Был произведен также расчет показателя негативного воздействия  $\Pi_{\text{нв}}$  и индекса  $IEQ$  технологий получения жаростойких композиций для ремонта печей. Результаты представлены в табл. 5.

Анализ полученных данных показывает, что разработанные технологии оказывают

ТАБЛИЦА 4. Сравнение технологий по показателю негативного воздействия на окружающую среду

Объекты исследования	Индексы $IEQ$	$\Pi_{\text{нв}}$
Разработанная технология получения керамического кирпича с отсевом вторичного щебня строительных отходов	0,868	1,36
Традиционная технология получения керамического кирпича	0,378	50,72

ТАБЛИЦА 5. Сравнение технологий по показателю негативного воздействия  $\Pi_{\text{нв}}$  и индексу  $IEQ$ 

Технологии получения жаростойких композиций	Индексы $IEQ$	$\Pi_{\text{нв}}$
Кладочный раствор	0,865	1,22
Термоизоляционная масса	1,19	1,23
Контрольный кладочный раствор	0,195	51,44

меньшее негативное воздействие на окружающую среду, чем традиционные.

### 3.2 Экономическая эффективность использования строительных отходов

Был произведен расчет экономии природных ресурсов при использовании строительных отходов в обжиговых технологиях.

**Расчет платы за размещение отходов.** Коэффициенты, учитывающие экологические факторы (состояние атмосферного воздуха и почвы), по Северо-Западному региону – 1,5 и 1,3 соответственно (в ред. постановления Правительства РФ от 12 июня 2003 г., № 344). Нормативы платы за размещение отходов производства и потребления приведены в табл. 6.

Размер платы за размещение отходов ( $i$ -го отхода), руб., в пределах установленных природопользователю лимитов определяется путем умножения соответствующих ставок платы с учетом вида размещаемого отхода (нетоксичные, токсичные) на массу размещаемого отхода и суммирования полученных произведений по видам размещаемых отходов:

$$\text{Пл}_{\text{отх}} = \sum_{i=1}^n \text{Сл}_{i\text{отх}} \cdot M_{i\text{отх}} \cdot K_{\text{инф}}$$

$$\text{при } M_{i\text{отх}} \leq M_{\text{лиотх}}$$

где  $\text{Сл}_{i\text{отх}}$  – ставка платы за размещение 1 т  $i$ -го отхода в пределах установленных лимитов, руб.;  $\text{Сл}_{i\text{отх}} = \text{Нбл}_{i\text{отх}} \cdot K_{\text{эотх}}$ , где  $\text{Нбл}_{i\text{отх}}$  – базовый норматив платы за 1 т размещаемых

ТАБЛИЦА 6. Нормативы платы за размещение отходов (в ред. постановления Правительства РФ от 1 июля 2005 г., № 410)

Вид отходов (по классам опасности для окружающей среды)	Нормативы платы за размещение 1 т отходов в пределах установленных лимитов размещения отходов, руб.
1. Отходы I класса опасности (чрезвычайно опасные)	1739,2
2. Отходы II класса опасности (высокоопасные)	745,4
3. Отходы III класса опасности (умеренно опасные)	497
4. Отходы IV класса опасности (малоопасные)	248,4
5. Отходы V класса опасности (неопасные)	248,4



отходов в пределах установленных лимитов, руб.;  $K_3$  – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости почв в данном регионе;  $M_{iотх}$  – фактическое размещение  $i$ -го отхода, т, м<sup>3</sup>;  $i$  – вид отхода,  $i = 1, 2, 3 \dots n$ ;  $M_{iотх}$  – годовой лимит на размещение  $i$ -го отхода, т, м<sup>3</sup>;  $K_{инф} = 1,79$  (на 2010 г.).

**Расчет платы за размещение отходов при производстве кирпича.** Приведем пример расчета платы за размещение отходов, используемых при производстве кирпича. Например, учитывая, что в городе каждый год появляется более 3 млн т строительного мусора, условно принимаем, что 1,5 млн т – это твердые минеральные отходы строительства,  $Pl = 1\,500\,000 \cdot 248,4 \cdot 1,3 \cdot 1,79 = 867\,040\,200$  руб.

Результаты расчета платы приведены в табл. 7.

ТАБЛИЦА 7. Плата за размещение отходов при производстве кирпича

Наименование отхода	Количество отхода, т	Класс опасности отхода	Плата за размещение отхода на полигоне, млн руб.
Строительные отходы	1,5	V	867,04

## Заключение

После того, как дана геоэкологическая оценка использования строительных отходов для производства обжиговых материалов строительной отрасли, можно сделать вывод: применение стройотходов экологически рационально и экономически выгодно, так как позволяет освободить земли, занятые свалками строительного мусора; уменьшить пылевую нагрузку на атмосферу; снизить миграцию химических веществ в почву и грунтовые воды; улучшить геоэкологическую ситуацию региона. При определенной подготовке строительные отходы могут стать вторичным ресурсом для производства обжиговых строительных материалов, что позволит снизить их себестоимость, а в перспективе это может дать снижение себестоимости строительства одного квадратного метра здания.

## Библиографический список

1. **Справка** об экологической обстановке в Санкт-Петербурге и Ленинградской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eco.nw.ru>.
2. **О пользе** переработки строительного мусора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atagos.com.ua>.
3. **Геоэкологические** решения по созданию эффективной строительной керамики на базе техногенного силикатного сырья / Н. А. Бабак, Л. Л. Масленникова, А. М. Славина // Известия ПГУПС. – 2010. – Вып. 2. – С. 220–230.
4. **Пат.** № 2397153 Российская Федерация, МПК С04В33/138. Керамическая масса светлого тона для лицевого кирпича / Сватовская Л. Б., Масленникова Л. Л., Бабак Н. А., Славина А. М.; опубл. 20.08.2010, Бюл. № 23.

5. **Пат.** № 2370468 Российская Федерация, МПК С04В 28/26 18/14 14/10 35/66 111/40. Термоизоляционная масса / Сватовская Л. Б., Масленникова Л. Л., Кривокульская А. М., Бабак Н. А., Славина А. М.; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29.

6. **Пат.** № 2387622 Российская Федерация, МПК С04В 35/66 28/02 111/20. Жаростойкий кладочный раствор / Сватовская Л. Б., Масленникова Л. Л., Славина А. М., Бабак Н. А., Кривокульская Т. М.; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12.

7. **Использование** промышленных отходов при производстве жаростойких бетонов / Н. А. Бабак, Л. Л. Масленникова, А. М. Славина // Экология урбанизированных территорий. – 2009. – № 1. – С. 72–75.

8. **Геоэкологический** резерв технологий, материалов и конструкций в строительстве при использовании промышленных минеральных отходов / Н. А. Бабак, Л. Л. Масленникова, А. М. Славина. – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2011. – 86 с.