DOI 10.15593/2409-5125/2016.01.06

УДК 502.1, 691.4

М.Ф. Гайдай

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ (ТЕРРИКОНИКОВ)

Описаны основные негативные экологические эффекты, связанные с образованием отвалов из отходов угледобычи. Предложен эффективный способ снижения нагрузки на окружающую среду от терриконикиков путем их переработки в строительную керамику. С целью подтверждения возможности применения отходов угледобычи при производстве строительной керамики и получения исходных данных для разработки технологии подобного производства изучены химический и минералогический состав терриконикиков, произведено их сопоставление с составом глин, проведен поэлементный химический и рентгенофазовый анализ, а также изучена микроструктура. Установлено, что горелые и негорелые терриконикики близки по химическому, минералогическому составу к глинам, а их микроструктура схожа, что позволяет сделать вывод о возможности частичной замены глины отходами угледобычи при производстве строительной керамики. Предложена технологическая схема экологически безопасного производства строительной керамики с применением терриконикиков методом пластического формования. Приведено описание жизненного цикла строительной керамики, выявлены негативные экологические эффекты на каждом отдельном этапе жизненного цикла строительной керамики, что позволило предложить мероприятия по снижению экологической нагрузки на окружающую среду. Приведены результаты экспертной оценки негативных экологических эффектов, возникающих на протяжении жизненного цикла строительной керамики из традиционного сырья и строительной керамики, произведенной с применением отходов угледобычи. Установлено, что применение терриконикиков в производстве строительной керамики позволяет снизить техногенную экологическую нагрузку на окружающую среду по жизненному циклу по отношению к строительной керамике, произведенной из традиционного сырья (глины).

Ключевые слова: ресурсосбережение, строительная керамика, экологическая безопасность, жизненный цикл, терриконикики.

Добыча угля сопровождается образованием крупнотоннажных отходов из некондиционной руды и вскрышных пород, которые складываются в терриконикики – отвалы из отходов угледобы-

чи. С целью снижения негативного воздействия на объекты окружающей среды, рационального использования и охраны минеральных ресурсов Земли перспективным представляется поиск путей применения терриконигов в отраслях народного хозяйства после их частичной или полной переработки. Это позволит не только вернуть в хозяйственный оборот земли, занятые в настоящее время террикониками, но и свести к минимуму негативные экологические эффекты от отвалов из отходов угледобычи.

Актуальность развития науки и техники в направлении вовлечения отходов угледобычи в ресурсную базу народного хозяйства подтверждается тем, что терриконики формируют техногенную экологическую нагрузку на окружающую среду. Они в значительной степени подвержены водной и ветровой эрозии, а также процессам самовозгорания. Под воздействием ветров происходит выдувание складированной в отвалах мелкой фракции породы с дальнейшим попаданием в поверхностные слои почвы на прилегающей территории, что в свою очередь является причиной возникновения негативных экологических эффектов. Мелкие частицы оказывают механическое воздействие, препятствуя произрастанию растительности, попадая в растительный слой, ведут к его деградации и уничтожению, поскольку являются инициаторами пагубных химических реакций.

Атмосферные осадки приводят к вымыванию из терриконигов на прилегающие территории значительных объемов пустой породы. Ввиду отсутствия на террикониках растительности или иных естественных и искусственных сдерживающих барьеров происходит вынос частиц мелких и средних размеров. Временные водные потоки, образующиеся на склонах шахтных отвалов, попадают на прилегающую к терриконикам территорию, при этом происходит унос несвязанных частиц почвы, разрушение плодородного слоя.

Терриконики являются источниками пылевых и газовых выбросов. Часть терриконигов подвержена процессам горения, что приводит к выбросам в атмосферу наряду с водными парами, образующимися при испарении таких опасных компонентов, как серная кислота (сульфат-ион), уголекислота, двуокись азота (нитрат-ион), которые попадают в зону горения атмосферных осадков при возгонке.

При этом терриконики возможно рассматривать в качестве техногенных месторождений. Замещение первичных сырьевых ресурсов техногенным сырьем при производстве строительных материалов, в том числе и строительной керамики, способствует повышению экологической безопасности и ресурсосбережению [1–3]. Утилизация терриконики путем их применения в промышленных производствах позволит радикально решить сложившуюся проблему. С применением терриконики угольных месторождений могут производиться: щебень, песок из отходов дробления, тяжелые и легкие бетоны, активированные бесклнкерные тонкомолотые гидравлические вяжущие, зернистые теплоизоляционные материалы [4]. Однако наилучший технико-экономический результат может быть получен при введении терриконики в состав шихты для производства строительной керамики, поскольку это позволит производить конечный продукт с большой добавленной стоимостью и нормативными свойствами. Целесообразность применения отходов угледобычи при производстве строительной керамики доказана результатами соответствующих эмпирических и теоретических исследований [5–7].

С целью подтверждения возможности применения отходов угледобычи при производстве строительной керамики и получения исходных данных для разработки технологии подобного производства, их сопоставления с составом глин был проведен поэлементный химический анализ проб с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения модели S-3400N фирмы Hitachi с энергодисперсионным спектрометром XFlash Detektor 4010 фирмы Bruker, а также анализ фазового состава проб с помощью рентгеновского дифрактометра XRD-7000 фирмы Shimadzu.

В качестве проб для исследований были взяты глина Калинкинского месторождения Пермского края, а также негорелые отходы угледобычи с главного отвала шахты им. Ленина в г. Кизел Пермского края и горелые отходы угледобычи с главного отвала шахты «Коспашская» Кизеловского района Пермского края.

Глина Калинкинского месторождения по химическому составу относится к группе кислого сырья, по минеральному составу – к группе полиминеральных глин, по пластичности – к группе

умереннопластичных глин ($\Pi = 7,5$). Гранулометрический состав испытуемой глины представлен следующими фракциями: глинистой – 11,9 %, пылевой – 35,6 %, песчаной – 52,5 %.

Результаты поэлементного химического анализа глины Калининского месторождения, «черных» и «красных» террикони-ков представлены на рис. 1–3 и в табл. 1.

Рис. 1. Поэлементный химический анализ глины Калининского месторождения

Рис. 2. Поэлементный химический анализ «черных» (негорелых) террикони-ков

Рис. 3. Поэлементный химический анализ «красных» (горелых) терриконигов

Таблица 1

Поэлементный химический состав

Исходные сырьевые компоненты	Содержание химических элементов, % по массе									
	Si	Al	Fe	Mg	Ti	K	S	Na	Ca	O
Глина	27,78	10,41	5,27	1,3	0,90	1,71	–	0,77	0,99	50,86
Терриконик «черный»	19,51	13,81	7,81	0,76	1,31	2,95	1,95	–	–	51,91
Терриконик «красный»	14,83	8,11	24,35	0,21	0,6	1,82	3,03	–	–	47,04

Из данных рис. 1–3 и табл. 1 следует, что химический состав терриконигов обоих видов можно считать сходным с химическим составом глины. Основными химическими соединениями, присутствующими в составе глины и терриконигов обоих видов, являются оксиды кремния, алюминия и железа. Помимо этого, в составе глины и терриконигов наблюдается наличие химических элементов K, Mg, Ti. Следует отметить присутствие в террикониках химического элемента S. В процессе обжига керамических изделий, содержащих в своем составе терриконики, химиче-

ский элемент S преобразуется в газообразный диоксид серы и негативного влияния на конечные свойства строительной керамики не оказывает.

Отмечено высокое содержание железа в составе горелых терриконигов. Известно [8], что оксиды железа являются сильными плавнями, поэтому введение в состав керамических масс добавки «красных» терриконигов может создать условия для улучшения их спекаемости. По результатам поэлементного химического анализа также выявлено, что в составе «черных» терриконигов по отношению к «красным» терриконигом наблюдается более высокое содержание соединений алюминия.

При проведении рентгенофазового анализа глины Калинкинского месторождения, «черных» и «красных» терриконигов идентификация полученных рентгенограмм производилась с использованием базы данных «ICDD PDF-4+ 2014» и сведений, приведенных в работах [9, 10].

Идентификация минералов, присутствующих в исследуемых образцах, осуществлялась путем сопоставления межплоскостных расстояний, полученных в ходе рентгенофазового анализа с межплоскостными расстояниями, характерными для соответствующих минералов. Условием идентификации минерала являлось совпадение по двум или трем пикам со стандартными рентгенограммами. Результаты рентгенофазового анализа приведены на рис. 4–6.

Рис. 4. Рентгенограмма глины Калинкинского месторождения

Рис. 5. Рентгенограмма «черных» терриконилов

Рис. 6. Рентгенограмма «красных» терриконилов

Как следует из представленных рентгенограмм, минералогический состав глины Калинкинского месторождения в значительной степени идентичен минералогическим составам «красных» и «черных» терриконилов. Во всех трех исследуемых образцах подтверждено наличие кварца, каолинита, анатаза и корунда. В «черных» и «красных» террикониках, в отличие от глины, выявлено наличие ярозита, что обусловлено содержанием в террикониках серы. Кроме того, в образцах исследуемой глины, в отличие от образцов терриконилов, присутствуют примеси анортита, кальцита и доломита.

Установлено, что наиболее широко в составе исследуемых образцов представлен минерал кварц, поскольку данному веществу соответствует как большая часть пиков на рентгенограмме, так и пики с наибольшей интенсивностью. Он преобладает над ос-

тальными идентифицированными минералами. Причем в глине и «черных» террикониках кварца значительно больше, чем в «красных» террикониках. В составе «красных» терриконикиков существенную долю занимает минерал маггемит. В глине его содержание незначительное, а в «черных» террикониках он не обнаружен.

Микроструктура образцов глины и терриконикиков обоих видов (рис. 7–9) определялась также с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения модели S-3400N фирмы Hitachi.

Рис. 7. Микроструктура образцов глины
Калинкинского месторождения

Рис. 8. Микроструктура образцов
«черных» терриконикиков

Рис. 9. Микроструктура образцов
«красных» терриконикиков

Увеличение образцов на представленных снимках составляет 1000 раз. При изучении микроструктуры образцов глины и терриконикиков обоих видов подтверждено отмеченное ранее наличие во всех трех образцах минерала кварца (идиоморфные бес-

цветные кристаллы размером 30–250 мкм). Минерал каолинит присутствует в виде шестиугольных (псевдогексагональных) чешуек, а у минерала анатаза кристаллы вытянутой формы [8].

Таким образом, установлено, что горелые и негорелые терриконики близки по химическому, минералогическому составу к глинам, а их микроструктура схожа. Это позволяет сделать вывод о том, что терриконики могут частично заменить глины при производстве строительной керамики.

Эмпирическими исследованиями доказано, что введение отходов угледобычи в состав шихты для производства строительной керамики влияет на основные физико-механические свойства конечных изделий [5]. С введением в состав сырьевой смеси «черных» терриконики в количестве 30 % средняя плотность строительной керамики снижается до 10 %. Подобное явление вызвано тем, что в составе «черных» терриконики присутствует до 30 % угольных частиц, которые выгорают при температуре 300–675 °С, оставляя после себя значительную пористость. Таким образом, «черные» терриконики можно расценивать как выгорающую добавку при производстве строительной керамики. Добавка в состав шихты «красных» терриконики также способствует снижению средней плотности образцов, но в меньшей степени, что свидетельствует о незначительном присутствии свободного углерода в их составе, связанное с его выгоранием за счет самопроизвольно протекающих высокотемпературных процессов на этапе хранения в отвалах. Однако установлено, что увеличение доли «красных» терриконики до 30 % в составе сырьевой смеси приводит к снижению величины полной усадки образцов при обжиге на 23 %. Отмеченные результаты свидетельствуют о возможности использования добавки «красного» терриконики как отощителя керамических масс для снижения их пластичности и повышения трещиностойкости.

Следует отметить, что введение терриконики незначительно снижает прочность и морозостойкость конечных изделий. Введение в состав сырьевой шихты добавки смеси терриконики в количестве 60 % приводит к снижению прочности при сжатии обожженных образцов на 23 %. Потеря морозостойкости образцами строительной керамики на основе шихты с добавкой террико-

ников может быть связана с увеличением открытой пористости по отношению к строительной керамике, шихта для производства которой террикоников не содержит.

В целом «черные» терриконики следует рассматривать как выгорающую добавку, а «красные» терриконики – как отощитель и интенсификатор спекания в составе сырьевой шихты для производства строительной керамики.

Широкое вовлечение ресурсного потенциала террикоников в производство строительной керамики сдерживается отсутствием технологии применения отходов угледобычи. В настоящее время известны такие технологии производства строительной керамики из первичных сырьевых ресурсов, как полусухое прессование, пластическое формование и шликерное литье. Основопологающим отличием среди данных технологий является влажность (W) керамической массы, используемой для изготовления конечной продукции. Для полусухого прессования $W = 7...13 \%$, для пластического формования $W = 14...25 \%$, а для шликерного литья $W > 30 \%$. Наиболее распространенной является технология пластического формования, которая позволяет получать высококачественные изделия с требуемыми физико-механическими свойствами и широкой сферой возможного применения, в том числе и при устройстве фундаментов зданий и сооружений. Однако одним из обязательных технологических переделов при производстве строительной керамики методом пластического формования является сушка сырца перед его обжигом, необходимость которой обусловлена высокой влажностью изделий после формовки и нарезки по заданным типоразмерам.

Нами разработана технологическая схема производства строительной керамики методом пластического формования с частичной заменой первичных сырьевых компонентов террикониками (рис. 10).

Подготовка террикоников перед смешением с глиной состоит из предварительной сушки, дробления и тонкого помола. Установлено, что терриконики следует измельчать до фракции менее 1 мм. Предварительная сушка отходов угледобычи необходима для повышения эффективности работы дробильно-помольного оборудования.

Рис. 10. Технологическая схема производства строительной керамики с применением терриконов методом пластического формования

Для достижения эффекта наиболее полного перемешивания глины и терриконов последние рационально вводить в состав шихты до камневыделительных вальцов, через которые проходит глина. Глинистая порода уже с добавлением терриконов подвергается измельчению на вальцах грубого и тонкого помола, где из нее удаляются вредные примеси. После процесса подготовки терриконы и глина попадают в глиномешалку, в которой все компоненты еще более тщательно перемешиваются до состояния однородной массы формовочной влажности. При необходимости в глиномешалке сырьевая смесь доувлажняется паром. Затем она подается на вакуумный ленточный пресс для формования, после чего на автомате для резки проходит процесс нарезки изделий в соответствии с заданными типоразмерами. После этого нарезанный сырец укладывается на паллеты и проходит процесс сушки до тех пор, пока его влажность не окажется менее 4–5 % по массе. Завершающим технологическим переделом является обжиг изделий, который проходит при температуре 950–1100 °С. Из печи обожженный кирпич транспортируется на разгрузку. Затем производится сортировка кирпича и садка его с помощью укладчика на деревянные поддоны с последующей упаковкой. Изделия соответствующего качества на поддонах с помощью погрузчика отгружаются на склад готовой продукции, а бой и бракованные изделия отправляются на повторную переработку.

Как видно из описания технологической схемы, производство строительной керамики с применением терриконов состоит из этапов, в большинстве своем аналогичных обычному производству строительной керамики методом пластического формова-

ния, что дает возможность использовать разработанное на сегодняшний день оборудование без затрат на его модернизацию. Также возможна реконструкция действующих традиционных производств под предлагаемую технологию без существенных материальных вложений.

Производство стеновых керамических изделий, как и любого другого строительного материала, сопряжено с негативными воздействиями на окружающую среду. Для оценки негативных экологических эффектов важным является описание жизненного цикла строительной керамики, который можно разделить на 2 крупных периода: период добычи сырья и производства строительной керамики, а также постпроизводственный период. Период добычи сырья и производства строительной керамики методом пластического формования состоит из следующих технологических операций:

- добыча глинистого сырья и иных сырьевых компонентов;
- транспортировка глины и иных сырьевых компонентов до места производства;
- подготовка глины в соответствии с технологией производства;
- перемешивание глины с различными технологическими добавками (в том числе плавнями, отощителями);
- формовка и нарезка сырца в соответствии с требуемыми типоразмерами;
- сушка изделий;
- обжиг изделий;
- упаковка и транспортировка готового изделия конечному потребителю.

Постпроизводственный период строительной керамики включает в себя такие этапы:

- применение строительной керамики при возведении внутренних и наружных конструкций зданий и сооружений;
- эксплуатация строительных узлов и конструкций, произведенных с применением строительной керамики;
- демонтаж строительных конструкций из керамических изделий, их утилизация или повторное применение (в том числе после переработки) после завершения использования.

На этапе повторного применения жизненный цикл строительной керамики замыкается. На основе этих данных возможно представить жизненный цикл строительной керамики в виде укрупненной схемы (табл. 2).

Таблица 2

Укрупненная схема жизненного цикла
строительной керамики

Этап жизненного цикла	Экологические эффекты	Возможные стратегические мероприятия по снижению нагрузок на окружающую среду
Добыча сырья	Истощение первичных сырьевых ресурсов. Нарушение природных ландшафтов. Повреждение экосистем. Уничтожение, деградация, угнетение флоры и фауны. Уничтожение почвенного покрова. Образование отходов	Замещение первичных природных ресурсов вторичными. Совершенствование технологий добычи сырья. Выполнение рекультивационных работ по восстановлению нарушенных земель. Применение ресурсосберегающих технологий
Транспортировка сырья до места производства	Загрязнение атмосферы. Опасное шумовое воздействие. Потребление энергии, бензина, дизельного топлива	Оптимизация логистики производства. Энергосбережение
Подготовка сырья в соответствии с технологией производства	Потребление энергии. Образование отходов. Опасное шумовое воздействие. Загрязнение атмосферы и окружающей среды	Оптимизация производственных процессов. Применение современного технологического оборудования
Перемешивание глины с технологическими добавками		
Формовка и резка сырца		
Сушка изделий	Загрязнение атмосферы. Потребление энергии, природного газа и других видов топлива. Негативное воздействие на окружающую среду. Образование отходов производства	Оптимизация технологических процессов. Энергосбережение. Применение современного технологического оборудования
Обжиг изделий		

Окончание табл. 2

Этап жизненного цикла	Экологические эффекты	Возможные стратегические мероприятия по снижению нагрузок на окружающую среду
Упаковка и транспортировка изделий конечному потребителю	Вредные выбросы при производстве упаковочных материалов. Загрязнение атмосферы. Опасное шумовое воздействие. Потребление энергии, бензина	Применение экологически безопасных упаковочных материалов. Оптимизация логистики. Энергосбережение
Применение строительной керамики при возведении зданий и сооружений	Потребление энергии. Загрязнение атмосферы. Образование строительных отходов. Изменение гидрогеологического режима местности. Опасное шумовое воздействие	Использование качественных материалов. Обеспечение соответствия долговечности отдельных материалов, деталей, изделий сроку службы всего здания. Энергосбережение
Эксплуатация строительных узлов и конструкций, произведенных с применением керамических изделий	Загрязнение окружающей среды, а также остальные виды воздействий, аналогичные воздействиям при строительстве, но в меньшей степени	Контроль состояния конструкций и их правильная эксплуатация. Обеспечение соответствия фактических характеристик конструкций проектным. Своевременная замена материалов, исчерпавших свой ресурс
Демонтаж строительных конструкций из керамических изделий, их утилизация или повторное применение	Вредные выбросы в атмосферу при демонтаже. Образование строительных отходов. Потребление энергии. Загрязнение окружающей среды	Предпочтение ремонту зданий и сооружений перед их сносом. Утилизация отходов. Повторное применение строительных отходов

Используя укрупненную схему жизненного цикла строительной керамики, можно выявить негативные экологические эффекты на каждом отдельном этапе жизненного цикла. Детальный анализ данных эффектов позволяет предложить мероприятия по снижению экологической нагрузки на окружающую среду при производстве строительной керамики.

Основными негативными экологическими эффектами, сопровождающими жизненный цикл строительной керамики, являются:

- повреждение экосистем и нарушение ландшафтов;
- вредные выбросы;
- затраты энергии;
- воздействие на санитарные условия жизни и здоровья населения;
- образование отходов.

В целом данные негативные экологические эффекты схожи с эффектами, возникающими на протяжении жизненных циклов других наиболее распространенных строительных материалов: древесины, металла, природного камня, минеральных вяжущих, полимерных материалов.

Одним из наиболее перспективных путей снижения повреждений экосистем и нарушения ландшафтов, расширения сырьевой базы, уменьшения количества вредных выбросов при производстве строительных материалов, в том числе и строительной керамики, является частичное или полное замещение первичных сырьевых ресурсов вторичными. Так, частичное замещение глины террикониками при производстве строительной керамики позволяет уменьшить потребность в разработке карьеров. При этом произойдет не только сохранение природных ландшафтов, но и будут уменьшены масштабы земель, занятых техногенными отходами. В настоящее время под террикониками задалживается значительное количество земель, потенциально пригодных для хозяйственной деятельности человека, в том числе для строительства и сельского хозяйства. Возвращение этих земель в хозяйственный оборот соответствует фундаментальным принципам устойчивого развития, основанным на рациональном природопользовании.

Экскавация расположенных на поверхности терриконики является менее энергоемкой по отношению к добыче глин в карьерах. Таким образом, частичное замещение глины террикониками позволит сократить загрязнение окружающей среды уже на стадии добычи сырья.

Наибольший негативный эффект на окружающую среду на этапе производства строительной керамики оказывают сушка и обжиг изделий. Данные технологические переделы являются наиболее энергоемкими и сопровождаются значительным коли-

чеством выбросов в атмосферу CO и CO₂. Температура воздуха в сушильном отделении достигает 120 °С, а обжиг изделий происходит при температуре 950–1100 °С. Применение терриконигов при производстве строительной керамики позволяет снизить негативные воздействия на окружающую среду за счет экономии первичных энергоресурсов (к примеру, природного газа), которые расходуются на достижение столь высокой температуры благодаря высокой теплотворной способности угольных частиц, содержание их в террикониках достигает 30 %.

Для сопоставления экологических эффектов, возникающих по жизненному циклу строительной керамики из традиционного сырья и строительной керамики с применением терриконигов, была проведена их экспертная оценка. Экспертная оценка, имеющая в своей основе научные данные, их анализ и логические выводы, позволяет с высокой степенью достоверности провести ранжирование различных строительных материалов по степени их воздействия на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла. Из всех известных методов экспертного оценивания для оценки экологических эффектов взаимодействия строительных материалов с окружающей средой на протяжении жизненного цикла наиболее подходящим является метод индивидуального экспертного опроса. Данный метод позволяет произвести всесторонний анализ проблемной ситуации и выявить возможные пути ее решения.

На основе статистического подхода определено, что количество экспертов для получения объективных данных исследования при величине доверительного интервала, равного 0,95, должно составлять от 8 до 15 человек [11–13]. В качестве квалифицированных экспертов были привлечены 12 человек, среди которых были работники предприятий строительного комплекса Пермского края, занимающие руководящие должности, а также члены профессорско-преподавательского состава кафедр «Строительный инжиниринг и материаловедение» и «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета. Среди экспертов преобладающее большинство (75 %) составили доктора наук и кандидаты наук, все эксперты имеют опыт работы в сферах экологии и строитель-

ства. Адекватность принятия решений специалистами при опросе и их компетентность подтверждается наличием соответствующих ученых степеней и званий, а также достаточным опытом практических и теоретических исследований в рассматриваемом вопросе. Мнения всех экспертов рассматривались как равноправные, а среднегрупповое мнение признавалось близким к истинному. Для оценки степени согласованности мнений опрошенных экспертов определялся коэффициент конкордации [14, 15].

При ответах на вопросы экспертам было предложено произвести оценку негативных экологических эффектов по десятибалльной шкале при условии, что 1 – это минимальное негативное влияние, 10 – максимальное негативное влияние. По результатам ответов экспертов, представленных в программе экспертного опроса, была составлена сводная таблица, отображающая оценку экологических эффектов взаимодействия строительной керамики и строительной керамики с применением терриконигов с окружающей средой по жизненному циклу (табл. 3).

Таблица 3

Оценка негативных экологических эффектов, возникающих на протяжении жизненного цикла строительного материала
(в баллах)

Вид строительного материала	Повреждение экосистем и нарушение ландшафтов	Дефицит сырья для производства	Выбросы в окр. среду	Затраты энергии	Влияние на здоровье человека	Образование отходов	Суммарная оценка
Строительная керамика из традиционного сырья	6	5	5	9	4	4	33
Строительная керамика с применением терриконигов	4	3	4	8	4	3	26

В результате анализа экспертных оценок вычислен коэффициент конкордации, который равняется 0,85 для данного экспертного опроса, что свидетельствует о согласованности мнений экспертов.

Исходя из данных табл. 3 можно сделать вывод о том, что строительная керамика с применением терриконики оказывает негативное влияние на окружающую среду по жизненному циклу в меньшем объеме, чем строительная керамика из традиционного сырья. Полученные результаты схожи с результатами исследований других авторов, в части оценки негативных экологических эффектов керамических строительных материалов по жизненному циклу [16, 17]. Известно, что на изготовление любого строительного материала затрачиваются материальные ресурсы и энергия, что формирует техногенную экологическую нагрузку на окружающую среду. Однако, зная факторы негативного влияния строительных материалов на окружающую среду по жизненному циклу, можно найти пути снижения этого формирования.

В ответах на вопросы эксперты отмечали, что возможными стратегическими мероприятиями по снижению негативного воздействия на окружающую среду от строительных материалов являются замещение первичных природных ресурсов вторичными, совершенствование технологии добычи сырья, применение ресурсо- и энергосберегающих технологий и оборудования, оптимизация производственных процессов, утилизация и сортировка отходов.

При помощи экспертного опроса установлено, что строительная керамика с применением терриконики оказывает негативные экологические эффекты по жизненному циклу в меньшем объеме, чем строительная керамика, произведенная только из традиционного сырья – глины. Применение терриконики при производстве строительной керамики позволяет снизить негативные экологические эффекты более чем на 20 %. Частичное замещение терриконики глины приводит, прежде всего, к снижению степени повреждения экосистем и нарушения природных ландшафтов, расширению сырьевой базы для производства строительной керамики. В связи с тем, что терриконики складируются в отвалах на поверхности и частично дезинтегрированы, их применение при производстве строительной керамики позволит сни-

зять затраты энергии на добычу глин в карьерах и, как следствие, сократить количество вредных выбросов.

Проведенные исследования позволили предложить экологически безопасную технологию производства строительной керамики с применением терриконики, которая может быть применена при решении проблемы негативных воздействий на окружающую среду от отвалов из отходов угледобычи. В связи с тем, что терриконики содержат в своем составе угольные частицы, их можно рассматривать как частично выгорающий компонент в составе сырьевой массы для производства строительной керамики. Выгорая в процессе обжига, угольные частицы выделяют тепло, что позволяет снизить расход природного газа или иного топлива на стадии производства готовой продукции на этапах сушки и обжига. При этом происходит снижение средней плотности строительной керамики за счет увеличения пористости, что положительно влияет на теплотехнические и шумоизоляционные свойства конечного материала при незначительном снижении прочности и морозостойкости. Та часть терриконики, которая подверглась в процессе хранения в отвалах процессам горения, может быть использована как отощитель и интенсификатор спекания в составе сырьевой шихты для производства строительной керамики.

Библиографический список

1. Bolden J., Abu-Lebdeh T., Fini E. Utilization of recycled and waste materials in various construction applications // *American Journal of Environmental Sciences*. – 2013. – Vol. 9, Iss. 1. – P. 14–24.
2. Red ceramics produced from mixtures of kaolinite clay and waste glass / E. Tiffo, A. Elimbi, J. Dika Manga, A. Bruno Tchamba // *Brazilian Journal of Science and Technology*. – 2015. – Vol. 2. – P. 4–17.
3. Malaiskiene J., Maciulaitis R. Frost resistant ceramics from local raw materials and wastes // *Modern Building Materials, Structures and Techniques*. – 2013. – Vol. 57. – P. 739–745.
4. Буравчук Н.И. Перспективные направления утилизации отходов добычи и сжигания углей // *Сотрудничество для решения проблемы отходов: материалы 5 междунар. конф.* – Харьков, 2008. – С. 120–123.
5. Применение отходов угледобычи в строительной керамике / Я.И. Вайсман, К.Г. Пугин, М.Ф. Гайдай, Н.С. Семейных // *Вестник МГСУ*. – 2014. – № 12. – С. 131–140.

6. Применение отходов угольных шахт в качестве сырья для получения керамического кирпича / Б.С. Баталин, Т.А. Белозерова, М.Ф. Гайдай, С.Э. Маховер // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – Вып. 10. – С. 23–25.

7. Баталин Б.С., Белозерова Т.А., Гайдай М.Ф. Строительная керамика из терриконилов Кизеловского угольного бассейна // Стекло и керамика. – 2014. – Вып. 3. – С. 8–10.

8. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Химическая технология керамического кирпича с использованием техногенного сырья: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. арх.-строит. ун-та, 2007. – 432 с.

9. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

10. Гончаров Ю.И., Шамшуров В.М., Дороганов Е.А. Рентгенофазовый и термографический методы исследования минерального сырья. Зерновой состав и пластические свойства: учеб.-метод. пособие. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. – 103 с.

11. Эйтингон В.Н. Методы организации экспертизы и обработки экспертных оценок в менеджменте: учеб.-метод. пособие. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 44 с.

12. Писарева О.М. Методы социально-экономического прогнозирования: учеб. – М.: Изд-во ГУУ-НФПК, 2003. – 395 с.

13. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей: справ. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 471 с.

14. Елисеева И.И., Юзбашева М.М. Общая теория статистики: учеб. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 656 с.

15. Богородская Н.А. Статистика. Методы анализа статистической информации: метод. указания к практ. занятиям. – СПб.: Изд-во СПбГУАП, 2008. – 158 с.

14. Князева В.П. Экология. Основы реставрации. – М.: Архитектура–С, 2005. – 400 с.

16. Насонова А.Е., Князева В.П., Жук П.М. Анализ систем экологически обоснованного выбора строительных материалов // Экология урбанизированных территорий. – 2012. – № 4. – С. 93–97.

References

1. Bolden J., Abu-Lebdeh T., Fini E. Utilization of recycled and waste materials in various construction applications. *American Journal of Environmental Sciences*, 2013, vol. 9, iss. 1, pp. 14–24.

2. Tiffö E., Elimbi A., Dika Manga J., Bruno Tchamba A. Red ceramics produced from mixtures of kaolinite clay and waste glass. *Brazilian Journal of Science and Technology*, 2015, vol. 2, pp. 4–17.

3. Malaiskiene J., Maciulaitis R. Frost resistant ceramics from local raw materials and wastes. *Modern Building Materials, Structures and Techniques*, 2013, vol. 57, pp. 739–745.

4. Buravchuk N.I. Perspektivnye napravleniya utilizatsii otkhodov dobychi i szhiganiya uglej [Perspective directions of recycling of production and burning of coals]. *Materialy 5 mezhdunarodnoj konferentsii «Sotrudnichestvo dlya resheniya problemy otkhodov»*. Kharkov, 2008, pp. 120–123.
5. Vajsman Ya.I., Pugin K.G., Gajdaj M.F., Semejnykh N.S. Primenenie otkhodov ugledobychi v stroitel'noj keramike [Use of coal-mining waste in structural ceramics]. *Vestnik MGSU*, 2014, no. 12, pp. 131–140.
6. Batalin B.S., Belozeroва T.A., Gajdaj M.F., Makhover S.E. Primenenie otkhodov ugol'nykh shakht v kachestve syr'ya dlya polucheniya keramicheskogo kirpicha [The use of coal mining waste as a material for ceramic brick production]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*, 2012, no. 10, pp. 23–25.
7. Batalin B.S., Belozeroва T.A., Gajdaj M.F. Stroitel'naya keramika iz terrikonikov Kizelovskogo ugol'nogo bassejna [Construction ceramics from spoil heaps of the Kizel coal basin]. *Steklo i keramika*, 2014, no. 3, pp. 8–10.
8. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Khimicheskaya tekhnologiya keramicheskogo kirpicha s ispol'zovaniem tekhnogennogo syr'ya [Chemical engineering of ceramic brick using technogenic raw materials]. Samarskij gosudarstvennyi arhitekturno-stroitelnyi universitet, 2007. 432 p.
9. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savel'ev V.G. Metody fiziko-khimicheskogo analiza vyazhushchikh veshchestv [Physical and chemical methods of analysis of binding materials]. Moscow: Vysshaya shkola, 1981. 335 p.
10. Goncharov Ju.I., Shamshurov V.M., Doroganov E.A. Rentgenofazovyj i termograficheskij metody issledovaniya mineral'nogo syr'ya. Zernovoj sostav i plasticheskie svoystva [X-ray phase and thermographic methods of research of mineral raw materials. Grain composition and plastic properties]. Belgorod, 2002. 103 p.
11. Ejtingon V.N. Metody organizatsii ekspertizy i obrabotki ekspertnykh otsenok v menedzhmente [Methods of organizing the examination and processing of expert estimations in management]. Voronezh, 2004. 44 p.
12. Pisareva O.M. Metody sotsial'no-ekonomicheskogo prognozirovaniya [Methods of social and economic forecasting]. Moscow, 2003. 395 p.
13. Ajvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaya statistika: Issledovanie zavisimostej [Applied statistics: Research dependencies]. Moscow: Finansy i statistika, 1985. 471 p.
14. Eliseeva I.I., Yuzbasheva M.M. Obshchaya teoriya statistiki [General theory of statistics]. Moscow: Finansy i statistika, 2006. 656 p.
15. Bogorodskaya N.A. Statistika. Metody analiza statisticheskoy informatsii [Methods of analysis of statistical information]. Saint Petersburg, 2008. 158 p.
16. Knjazeva V.P. Ekologiya. Osnovy restavratsii [Restoration basics]. Moscow: Arhitektura–S, 2005. 400 p.
17. Nasonova A.E., Knyazeva V.P., Zhuk P.M. Analiz sistem ekologicheskii obosnovannogo vybora stroitel'nykh materialov [Analysis systems for the environmentally sound choice of building materials]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorij*, 2012, no. 4, pp. 93–97.

Получено 17.01.16

M. Gajdaj

**DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY
FRIENDLY PRODUCTION TECHNOLOGY OF
STRUCTURAL CERAMICS USING COAL
MINING WASTE (SPOIL HEAPS)**

This article describes basic negative ecological effects connected with coal mining tailings. It offers an effective way of reducing negative effect of spoil heaps on the environment by recycling spoil heaps into structural ceramics. To confirm the possibility of using coal mining waste in production of structural ceramics and obtain the initial data for the development of this production technology we have examined chemical and mineral compositions of spoil heaps, compared them with composition of clay, carried out elemental and X-ray diffraction analyses and studied their microstructures. It is found that burnt and unburned spoil heaps are similar (in their chemical and mineral compositions and microstructure) to clay, so it suggests the possibility of partial replacement of clay with coal mining waste in production of structural ceramics. The article offers a new ecologically friendly model for the production of structural ceramics using plastic moulding of spoil heaps. It describes the life cycle of structural ceramics, shows its negative ecological effects on each stage, thus it resulted in offering some environmental load reduction measures. The article shows the results of expert assessment of negative ecological effects arising during the whole life cycle of structural ceramics made of traditional raw materials and structural ceramics made with the use of coal mining waste. It is found that the use of spoil heaps in the production of structural ceramics allows to reduce the technogenic environmental load during its life cycle in comparison with the use of structural ceramics made of traditional raw materials (clay).

Keywords: resource saving, structural ceramics, environmental safety, life cycle, spoil heaps.

Гайдай Максим Федорович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: gaidaimaxim@yandex.ru).

Gajdaj Maxim (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student of Department «Environmental protection», Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: gaidaimaxim@yandex.ru).