УДК 666.3

Д.В. Макаров, Р.Г. Мелконян, О.В. Суворова, В.А. Кумарова

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлен обзор зарубежных и отечественных исследований по утилизации различных промышленных отходов в производстве керамических строительных изделий – кирпича, камня, плитки. Рассмотрены основные технические требования, предъявляемые к стеновым керамическим материалам российскими и европейскими стандартами. Проанализированы классификации используемых в производстве керамических строительных материалов отходов. Показано, что в ряде случаев использование отходов приводит к улучшению свойств материалов. Утилизация крупнотоннажных промышленных отходов, прежде всего, горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов в керамические строительные материалы экономически эффективна и направлена на решение экологических и социальных проблем.

Ключевые слова: керамические строительные материалы, глина, спекание, промышленные отходы, отходы горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов.

Введение

Объемы складируемых отходов горно-металлургического (ГМК) и топливно-энергетического (ТЭК) комплексов соизмеримы с потребностью промышленности строительных материалов в минеральном сырье. Однако в настоящее время в Российской Федерации их использование в большинстве случаев не превышает 10% [1].

Одним из перспективных направлений использования отходов является получение керамических строительных материалов: стеновых, облицовочных и тротуарных изделий. Утилизация отходов в строительные материалы направлена на решение социальных и экологических проблем, улучшение жилищных условий населения, создание дополнительных рабочих мест.

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 254–281.
© 2016. Д.В. Макаров, Р.Г. Мелконян, О.В. Суворова, В.А. Кумарова.

При получении строительных материалов из вторичного сырья экономическая эффективность будет заключаться в предотвращенном экологическом ущербе. Применение вторичного сырья снизит потребность в первичных минерально-сырьевых ресурсах, отпадет необходимость в специализированных карьерах по разработке глин, нарушении природных ландшафтов и т.д. Утилизация отходов ГМК и ТЭК в промышленности строительных материалов решает не только экологические, но и экономические задачи, поскольку сырье из отходов для производства стеновой керамики в 2–3 раза дешевле, чем природное [2].

По данным В.Ф. Павлова в Англии и Германии годовой выпуск нерудных строительных материалов на основе отходов составляет порядка 30 млн т, а в России немногим более 100 тыс. т [3].

Обзор мирового и отечественного опыта использования отходов в производстве керамических строительных материалов

Состояние рынка керамических стеновых материалов в 2014 г. проанализировано А.А. Семеновым [4].

Им отмечено увеличение мощностей отрасли. Показано, что увеличение выпуска продукции сопровождается положительной динамикой роста. При этом девальвация рубля положительно сказалась на структуре экспортно-импортных поставок керамических стеновых материалов. Вместе с тем, из-за общего негативного состояния российской экономики и сокращения жилищного строительства прогнозируется снижение объемов производства и потребления керамических стеновых материалов впервые с 2009 г.

В работе [5] рассмотрены основные технические требования, предъявляемые к стеновым керамическим материалам российскими (ГОСТ 530-2007, новая версия ГОСТ 530-2012) и европейскими (EN 771-1:2011) нормативными документами, проведен их сравнительный анализ. Показаны многочисленные различия в нормировании показателей качества стеновой керамики. Это относится к виду стеновых керамических изделий, их размерам и допускаемым отклонениям, дефектам внешнего вида, требованиям к прочности, средней плотности и теплотехническим характеристикам изделий, их водопоглощение и морозостойкости, наличию высолов и известковых включений. Отмечены также существенные отличия стандартов в части методов испытаний стеновых керамических материалов.

Так, в стандарте EN 771-1:2011 все керамические кирпичи разделены на две группы:

• кирпич LD – кирпич с плотностью брутто в сухом состоянии менее 1000 кг/м^3 для применения в защищенной кладке (от воздействия воды, например внутренняя верста или забутка в наружных стенах, кладка в оштукатуренных или облицованных наружных стенах, внутренние стены);

• кирпич HD – все виды кирпича для применения в незащищенной кладке и кирпич с плотностью брутто в сухом состоянии более 1000 кг/м^3 для применения в защищенной кладке [5].

Отсутствует в стандарте EN 771-1:2011 понятие марки кирпича по прочности. Прочность изделий не нормируется. Вводятся:

• строительные блоки (кирпичи) категории I – строительные блоки с декларируемой прочностью при сжатии обеспеченностью 95%;

• строительные блоки (кирпичи) категории II – строительные блоки, которые не достигают уровня качества блоков категории I.

Производитель в документации на продукцию указывает категорию кирпича (I или II) и декларируемую прочность [5].

По EN 771-1:2011 не устанавливаются требования к водопоглощению кирпича LD. Для кирпича HD изготовитель указывает границы водопоглощения партии кирпича, предназначенного для применения в наружных конструкциях с незащищенными лицевыми поверхностями [5].

Согласно EN 771-1:2011 изготовителем указывается только класс морозостойкости кирпича с учетом применения кладки или ее элементов в неагрессивной, умеренно агрессивной и в сильноагрессивной среде. Для кирпича LD морозостойкость не нормируется. Предусматривается качественная оценка морозостойкости: кирпич соответствует классу F2, если выдерживает 100 циклов попеременного замораживания – оттаивания, в противном случае изделию присваивается класс F1. Класс F0 предусмотрен для кирпича, предназначенного для применения в неагрессивной среде (отсутствие влаги и попеременного замораживания – оттаивания). Класс по морозостойкости указывается производителем в документации на продукцию [5].

Использованию различных промышленных и сельскохозяйственных отходов в производстве керамических строительных материалов за рубежом придается огромное значение. Об этом свидетельствует тот факт, что за период 2011–2015 гг. в журнале

«Construction and Building Materials» было опубликовано четыре обзорных статьи, посвященных этой проблеме [6–9].

При этом количество литературных источников увеличилось от 66 в работе 2011 г. [6] до 150 в обзоре 2014 г. [9].

Следует отметить, что ни в одном из этих обзоров не упомянуты результаты исследований российских авторов.

В работе Л. Чжана [7] рассмотрено использование отходов для получения стеновых материалов не только по керамической технологии, но и прессованием в смеси с портландцементом и другими вяжущими, а также методом геополимеризации. При этом, классифицируя технологии, автор никак не классифицирует используемые отходы по их происхождению и свойствам.

Чилийские авторы [8] предложили классификацию используемых в производстве керамических строительных материалов отходов:

• осадки бытовых или промышленных сточных вод, которые содержат, как правило, много органических веществ и значительные количества тяжелых металлов;

• золы тепловых электростанций, котельных, мусоросжигательных заводов и т.д. Состав зол зависит от происхождения топлива, технологических параметров его подготовки и сжигания, условий хранения в отвалах;

• неорганические отходы, в основном отходы ГМК. Наибольшее число исследований посвящено использованию пыли и шлаков;

• органические отходы: сельскохозяйственной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности. Используются главным образом в качестве порообразователей и для экономии энергии при обжиге.

В обзоре [9] предложено разделять отходы на органические и неорганические.

Рассмотрим ряд исследований, придерживаясь классификации [8].

Применение осадков бытовых или промышленных сточных вод для получения керамических строительных материалов описано в работах [10–14 и др.].

Так, исследователями из Литвы была показана возможность применения в керамическом производстве шлама, образующегося при очистке питьевой воды, на 70% состоящего из аморфного Fe_2O_3 [10].

В зависимости от содержания шлама в керамической массе (исследованный диапазон 5–40%) были получены керамические материалы различного назначения: кирпичи, блоки, плит-

ки. Кроме того, добавка в керамическую массу шлама позволяет улучшить декоративные характеристики изделий.

Для производства терракотовых керамических изделий исследователи из Марокко предлагают использовать шламы водоподготовки в количестве от 5 до 30% в композиции с глиной [11].

Детальные исследования методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии, определение технологических свойств, позволили обосновать оптимальные составы и технологические режимы.

Значительным потенциалом для производства керамических стеновых материалов обладают шламы гальванических производств [13–15].

В работе [15] показано, что кирпич на основе композиции глина–шлам (5%) характеризуется улучшенными физико-механическими свойствами. С учетом высоких содержаний в шламах тяжелых металлов (Cr, Zn, Ni и др.), авторами были выполнены тесты выщелачивания полученных материалов, которые продемонстрировали, что поллютанты при обжиге переходят в устойчивые соединения в составе керамики.

В работе французских авторов представлены положительные результаты исследований качества воздуха внутри специально построенного из керамического кирпича с добавлением речных донных отложений демонстрационного здания [16].

Успешные примеры использования в производстве керамического кирпича отходов тепловых электростанций (золы-уноса, зольных остатков) приведены в работах [17–19 и др.].

Большое количество публикаций посвящено вовлечению в производство керамических строительных материалов отходов ГМК: хвостов обогащения различных руд, песков отсева, шлаков, шламов химико-металлургических производств [6–9, 20–35].

В работах китайских исследователей для получения керамических материалов применялись хвосты обогащения железных руд [21, 22].

В работе [21] керамический кирпич получен при соотношении хвосты : глина : зола-унос 84 : 10 : 6. Влажность массы составляла 12,5–15%, давление прессования 20–25 МПа, температура обжига 980–1030 °С в течение 2 ч. Прочность и водопоглощение образцов составили 20,03–22,92 МПа и 16,54–17,93% соответственно, что соответствует китайскому стандарту GB/T5101-2003.

Т. Кавас использовал хвосты обогащения боратовой руды месторождения Кырка, Турция и красный шлам бокситового производства [23].

Наилучшие механические характеристики продемонстрировали образцы, содержащие 15% хвостов (остальное красный шлам).

Ряд работ посвящен использованию шламов химико-металлургических производств [23, 30–33].

В работе [30] показано, что при добавлении к глине 50% красного шлама полученный спеканием при 950 °С в течение 1 ч кирпич имеет прочность при сжатии большую, чем у кирпича на основе только глины. Технологические характеристики составили: линейная усадка 0,46%, водопоглощение 21%, прочность при сжатии 52,54 МПа.

Авторы [33] провели детальные исследования шлама, образующегося при переработке ильменита ни титановый пигмент. Было показано, что введение в керамическую массу шлама (3–5%) снижает пористость и водопоглощение изделий. Это повышает их морозостойкость и снижает вероятность образования высолов. Технологические свойства новых плиток сопоставимы или даже лучше, чем у взятого за основу коммерческого образца.

Большое количество статей посвящено применению органических отходов для получения строительной керамики. Можно выделить разнообразные отходы агропромышленного комплекса: рисовой шелухи, отходы хлопка-сырца, сахарного тростника, чайного производства и др. [6–9, 36–45].

Целый ряд публикаций, главным образом, испанских исследователей посвящен использованию отходов производства оливкового масла [40–44]. Применение жмыха в качестве порообразующей добавки позволило получить керамический кирпич с пониженными объемной плотностью и теплопроводностью при сохранении приемлемых прочностных характеристик [42].

Французские исследователи добавляли в керамическую массу молотые оливковые косточки и пшеничную солому [43].

В работе [45] чилийские авторы предложили использовать в качестве добавки отходы виноделия.

Еще один крупнотоннажный содержащий органику отход, который может быть использован в керамическом производстве – шламы целлюлозно-бумажной промышленности, объем которых в 2005 году в Европе составил 11 млн т [46].

Авторами обобщен опыт 10-летнего промышленного производства этого нового смешанного керамического продукта в Испании, что позволило существенно сократить объемы шламов.

В статье [47] описаны композиции на основе красной глины с добавлением шлама целлюлозно-бумажной промышленно-

сти и стеклобоя для получения керамики. Керамические материалы с добавками, обожженные при 1050 и 1100 °С, продемонстрировали более высокие физико-механические свойства по сравнению с материалами с использованием 100% глины.

Белорусскими коллегами проведены исследования составов масс с использованием различных порообразующих компонентов (древесные опилки и древесная зола, костра льна, отходы целлюлозно-бумажного и сахарного производства в количестве до 10%) для получения стеновых керамических материалов с улучшенными теплоизоляционными характеристиками [48].

В последние годы в нашей стране проблеме вовлечения промышленных отходов, главным образом отходов ГМК и ТЭК, в производство керамических строительных материалов также уделяется повышенное внимание. Обзор более 50 работ, опубликованных за период 2010–2015 гг. в отечественных научно-технических и производственных журналах, таких как «Известия вузов. Строительство», «Обогащение руд», «Стекло и керамика», «Строительные материалы», «Техника и технология силикатов», «Экология и промышленность России», «Экология промышленного производства» и др. показал, что истощение традиционной сырьевой базы производства керамических стеновых материалов обусловливает вовлечение в производство широкого спектра техногенных отходов [49–99]:

- отходы углеобогащения – угольные шламы;
- золы и золошлаковые отходы;
- хвосты обогащения железных, флюоритовых, молибденовых, кобальтовых, медно-никелевых руд;
- шлаки черной и цветной металлургии;
- ультраосновные вскрышные породы – дуниты и верлиты;
- отсевы различных пород и строительных отходов;
- буровые шламы;
- отходы, образующиеся при производстве минеральных удобрений;
- алюмосодержащие отходы нефтехимии;
- отработанный керамический сорбент и др.

Так, в работах [49–51] представлены результаты исследований по получению керамических камней высокой эффективности на основе карбонатных опок и отходов углеобогащения предприятий Ростовской области. Микропористая структура опок, обладает высокой газопроницаемостью. Это способствует полному выгоранию угольной добавки. Кроме того, угольные шламы улучшают прессуемость пресс-порошков на основе

опок. Получены пустотелые изделия марок М75-125 и теплопроводностью 0,2 Вт/(м·К).

Из керамической массы, включающей флотационные отходы углеобогащения, опал-кристобалитовую породу – опоку, измельченные до -1 мм, карбонатный шлам химической водоочистки ТЭС в естественном тонкодисперсном состоянии получены изделия с пониженной плотностью (1,12 г/см^3), повышенными прочностными показателями (прочность при сжатии до 45 МПа) и улучшенными формовочными свойствами массы [50].

Исследователями из Белоруссии показано, что трепел можно вводить в качестве поризующей добавки вместо опилок при производстве пустотелых поризованных блоков, расширив тем самым область использования трепела для производства стеновых изделий и заменив привозные сырьевые материалы на местные [52].

В работах В.З. Абдрахимова с соавторами обоснована возможность использования для производства керамического материала шлака от сжигания бурого угля Канско-Ачинского бассейна на Красноярской ТЭЦ-2 [53, 54]. Установлено, что шлак, имея повышенные содержания оксидов железа, кальция и щелочей способствует спеканию керамических материалов при относительно невысоких температурах обжига. Получены легковесные (теплоизоляционные) и высокомарочные кирпичи без применения природных традиционных материалов с высокими физико-механическими показателями. Показано, что вовлечение шлака от сжигания угля и межсланцевой глины в керамическое производство значительно расширяет сырьевую базу.

Для производства кирпича и облицовочных керамических камней сотрудниками ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» предложено использовать керамическую массу, включающую легкоплавкую глину и техногенный отход с размерами частиц -0,315 мм [55].

Отход состоит из золы-уноса ТЭС – 80% и пылеуноса печей кальцинации глинозема – 20%. При соотношении компонентов, в %: легкоплавкая глина – 85–90%, техногенный отход – 10–15% достигается повышение прочности при сжатии изделий (до 36–47 МПа).

Анализ химического и минерального составов хвостов обогащения флюоритовых руд различных месторождений показал перспективу их использования в качестве минерализаторов в керамической промышленности [56].

Эффективность использования фтора в силикатных системах определяется существенным изменением при термической об-

работке керамических материалов кристаллизационных структур, обеспечивающих повышение физико-механических показателей строительной керамики. Фториды способствуют разрушению решеток глинистых минералов, повышают способность жидкой фазы к перекристаллизации твердых фаз.

Р.Г. Еромасовым и Э.М. Никифоровой показано, что использование отходов обогащения молибденовых руд при получении керамической плитки обеспечивает повышение прочности при сжатии и изгибе (300 и 36 МПа) и снижение температуры обжига изделий (до 1050 °С) [57].

Отходы обогащения измельчают с последующей классификацией по крупности с выделением фракций -0,063+0,042 мм и -0,042 мм и их смешиванием в соотношении 2 : 3. Затем их смешивают с легкоплавкой глиной и нефелиновым шламом в соотношении 1 : (1,5–2,5) : (2,5–1,5). Обжиг полупродукта ведут при температуре 1000–1050°С.

Для получения стеновой керамики авторами из Тувинского государственного университета предложено использовать хвосты извлечения кобальтового концентрата в количестве 10–30% добавляемые к глине [58]. Получены изделия с прочностью при сжатии 48,6 МПа и водопоглощением 8,2%.

Авторами [59] обосновано снижение водопоглощения лицевого кирпича за счет использования отхода ГМК – гранулированного доменного шлака. Керамическая масса светлого тона для лицевого кирпича содержит кембрийскую глину, тонкомолотый бой автоклавного пенобетона и гранулированный доменный шлак при соотношении компонентов, в %: глина кембрийская – 68–72; тонкомолотый бой автоклавного пенобетона – 4–6; гранулированный доменный шлак – 24–26.

Для снижения коэффициента теплопроводности керамического кирпича предложена шихта, содержащая глину, гранулированный доменный шлак (20–25%) и тонкомолотый бой ячеистого бетона (15–20%) [60].

Керамическая масса, разработанная авторами [61], содержит кембрийскую глину и отощитель (25–35%), в качестве которого предложено использовать купершлак, предварительно обработанный потоком ускоренных электронов при оптимальном значении поглощенной дозы в диапазоне 50–150 кГр. При температуре обжига кирпича до 1000 °С достигается повышение прочности при изгибе.

В.А. Гурьевой и В.В. Прокофьевой показано влияние техногенных силикатов магния на структурно-фазовые изменения

керамического камня на основе малокомпонентной шихты, состоящей из каркасообразующего непластичного компонента (магнийсодержащего техногенного сырья – дунит Донского ГОКа, АО «ТНК«Казхром», Актюбинская область, Республика Казахстан) и связующего компонента (низкосортной глины Оренбуржья) [62]. Авторами установлено, что кристаллизация и рекристаллизация на завершающей стадии обжига новообразованных форстерита, клиноэнстатита, индиалита, кордиерита, являющихся структурообразующими элементами керамического черепка, определяют в дальнейшем комплекс термических и физико-механических свойств керамического камня строительного назначения.

Л.И. Худяковым с соавторами рассмотрена возможность использования отходов горнодобывающей промышленности в виде ультраосновных пород (дунитов и верлитов) в качестве добавки при производстве облицовочного керамического кирпича, а также фасадной керамики [63]. Показано, что полученные материалы обладают хорошими физико-механическими свойствами. Установлено, что добавка в состав шихты мелкой фракции дунита и верлита позволяет снизить температуру обжига керамических материалов.

Керамическая масса для изготовления стеновых материалов, включающая глину (65–90%) и отсев цеолитсодержащей породы фракции -0,31 мм позволяет получить стеновые керамические изделия с повышенной прочностью (до 46,7 МПа) и малым водопоглощением (до 7,6%) [64].

Повышения прочности при изгибе и термостойкости изделий при изготовлении облицовочной плитки позволило добиться применение в составе керамической массы легкоплавкой гидрослюдистой глины (60–75%) и отходов карьеров талькового камня [65].

Авторами предложена керамическая масса для изготовления стеновых изделий, содержащая глинистое сырье, активированную карбонатно-кремнистую цеолитсодержащую породу и дополнительно мелкоразмерный вспученный вермикулит, полученный из мелкоразмерных частиц отвалов месторождений вермикулита [66].

В результате достигнуто увеличение прочности на сжатие (32,1–35,6 МПа) и снижение объемного веса готовых изделий (1,58–1,68 г/см^3).

В работе [67] обоснована возможность расширения сырьевой базы производства керамического кирпича с высокими

физико-механическими свойствами и малым коэффициентом теплопроводности за счет использования широко распространенных многотоннажных отходов кирпичного боя, образующегося при замене старой кирпичной кладки или дроблении брака. Исследовано влияние добавки этого отхода к глинистому сырью на технологические свойства сырьевых масс. Определены основные физико-механические и теплотехнические свойства керамического черепка, позволяющие судить о возможности использования данного техногенного сырья.

Авторами [68] разработана керамическая масса для лицевого кирпича, которая содержит кембрийскую глину и отсевы строительных отходов от разборки зданий (25–30%). Отсевы на 80% представлены боем тяжелого бетона с модулем крупности 2,7. В результате достигнуто снижение водопоглощения и повышение прочности изделий.

В работе [69] представлены результаты исследований пригодности атюхтинского глинистого сырья для производства керамического кирпича способом компрессионного формования. Определено, что для получения керамического черепка высокой прочности (35 МПа) и морозостойкости (более 150 циклов) необходимо вводить в шихту минеральную кальцийсодержащую добавку – отходы, образующиеся при производстве минеральных удобрений. С использованием данных рекомендаций на Шахтинском кирпичном заводе выпущены опытные партии лицевого кирпича красного и светло-желтого цветов.

В.З. Абдрахимовым с соавторами показано, что алюмосодержащие отходы с содержанием Al_2O_3 более 20% можно использовать в производстве керамических материалов: кислотоупорных, стеновых, клинкерных и пористых заполнителей с высокими физико-механическими и химическими показателями [70, 71].

В работе [72] исследованы минералогический и гранулометрический составы техногенного сырья – бурового шлама Пашийского месторождения и глинистого сырья Бузулукского месторождения и разработаны двухкомпонентные системы на их основе. Обоснована возможность производства керамического кирпича марок М75 и М100 по стандартной технологии с утилизацией техногенного сырья.

Для производства керамической плитки А.А. Галенко и М.В. Плешко предложен новый техногенный сырьевой материал – отход седиментационного осаждения шахтных вод. Авторами проведены его комплексные исследования и разработа-

ны составы масс для производства по технологии скоростного однократного обжига, установлено оптимальное соотношение сырьевых компонентов [73].

Сотрудниками Петербургского государственного университета путей сообщения разработана керамическая масса для получения лицевого кирпича, содержащего кембрийскую глину, песок и отработанный керамический сорбент после очистки сточных вод, при следующем соотношении компонентов, в %: глина кембрийская – 65–75, песок – 15–20, отработанный сорбент – 10–15 [74].

В последние годы наиболее обширные исследования выполнены А.Ю. Столбоушкиным с соавторами [75–88].

В них установлены закономерности процессов формирования матричной структуры и технологические режимы получения стеновых керамических материалов на основе малопластичного неспекающегося техногенного и природного сырья. Исследован широкий спектр отходов ГМК:

- отходы мокрой магнитной сепарации, образующиеся при обогащении железных руд;
- отходы обогащения углей;
- зола и золошлаковые отходы;
- отходы сухого обогащения бурых углей (углистые аргиллиты);
- различные глинистые породы Западной Сибири.

А.Ю. Столбоушкиным установлено, что грануляция тонкодисперсного малопластичного техногенного или природного сырья с последующим нанесением на гранулы активно спекающейся глины и прессованием обеспечивает формирование упорядоченного пространственного каркаса в материале. Предложена схема формирования матричной структуры сырца, позволяющая увеличить количество неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья в шихте до 80 масс.%. Выявлены особенности трансформации структуры отформованного сырца в керамический матричный композит после обжига, макроструктура которого состоит из ядер, покрытых оболочкой из продуктов спекания глины. На границе контакта гранул глинистая составляющая шихты продуцирует расплав, который внедряется в периферийную зону ядра и после кристаллизации образует матричную структуру, повышающую прочность черепка до 30% [2].

Детальные исследования поровой структуры керамических матричных композитов на основе шламистой части отходов

обогащения железных руд показали, что высокие значения предела прочности при изгибе и морозостойкости изделий связаны с особенностями формирования матричной структуры керамического кирпича при использовании отходов в качестве агрегированного заполнителя и активированного суглинка в качестве связки, а также введения в состав шихты добавки-плавня [88].

Выявлено, что в гранулах образуются в основном замкнутые поры округлой формы, а граничный слой, сформированный из затвердевшего расплава, имеет свою развитую поровую структуру и создает на макроуровне петельчатую текстуру керамического материала за счет оконтуривания гранул концентрической цепочкой макропор, частично или полностью заполненных стеклокристаллическим веществом.

Наличие больших объемов отходов ГМК в Мурманской области создает предпосылки для широкого развития производства керамических изделий различного назначения [89–99].

В качестве потенциального техногенного сырья для производства стеновых керамических материалов исследованы:

- хвосты обогащения апатит-нефелиновых руд;
- хвосты обогащения медно-никелевых руд;
- шлаки медно-никелевого производства;
- хвосты обогащения железистых кварцитов;
- хвосты обогащения вермикулитовых руд и некоторые другие объекты.

На их основе были получены материалы без использования первичного сырья (глин) с улучшенными свойствами: прочность при сжатии 40–50 МПа и более, при изгибе 7–20 МПа, теплопроводность 0,29–0,45 Вт/м·К, морозостойкость 40–50 циклов [89, 92, 93, 99].

Важным аспектом вовлечения отходов ГМК в керамическое производство считаем разработку научных основ инновационных технологий и проектных решений производственных линий. Так, в работах Г.Д. Ашмарина с соавторами показана эффективность технологии компрессионного формования, обеспечивающая высокое качество получаемых изделий, и предложены новые энерго- и ресурсосберегающие технологии [100, 101].

Методика испытаний камневидного сырья для производства стеновых керамических изделий компрессионного формования предложена в работе [102].

Новая технология изготовления керамических изделий (кирпича, черепицы и др.) ударным прессованием на электрогид-

равлическом прессе давлением 800 МПа обсуждена в работе Ю.Н. Полянчикова и М.Ю. Полянчиковой [103].

При сокращенной длительности производственного цикла благодаря повышению активности процессов, происходящих при прессовании и обжиге, метод позволяет получать керамические изделия повышенной механической прочности (45–60 МПа), улучшенного товарного вида и повышенного качества.

Для управления формированием фазового состава обожженной керамики, обоснования оптимальных температуры и среды обжига, необходимости введения корректирующих добавок, прогнозирования физико-механических характеристик готовой продукции необходимо использование комплекса современных физических и физико-химических методов исследований. Успешные примеры такого использования приведены в работах [2, 86, 88, 96, 104–107 и др.].

Важным аспектом улучшения структуры получаемых материалов является моделирование процессов, протекающих при обжиге [108, 109 и др.]. Так, Ю.Н. Крючковым предложена модель, описывающая структуру материала в процессе спекания и учитывающая процесс кластеризации составляющих материал частиц [108].

Получены формулы для микро- и макропористого пространства (координационного числа, удельной поверхности и среднего размера пор) и алгоритм их расчета.

Авторами [110, 111] исследовано влияние модифицирующей добавки многослойных углеродных нанотрубок Graphitstrength TM фирмы Arkena (Франция) на структуру и свойства строительной керамики. Установлено структурирующее влияние модифицирующей добавки на керамический сырец и обожженный продукт. Введение многослойных углеродных нанотрубок в количестве 0,005% от массы глины позволило повысить прочность высушенного сырца и обожженного керамического изделия, при этом достигнуто снижение температуры обжига керамики.

В работе [112] обоснована возможность использования в качестве модифицирующих добавок в глинистое сырье гидрозолей оксидов кремния и алюминия. Введение этих наномодификаторов в глинистые суспензии привело к увеличению набухания глин, изменению pH раствора и после обжига повышению прочности образцов из огнеупорной и бентонитовой глин. Показано влияние поля СВЧ на микроструктуру обработанных гидрозолем оксида алюминия бентонитовой глины, кварцевого песка и диатомита, изменение пластичности глин, обработанных гидрозолями оксида алюминия.

Таким образом, обзор зарубежных и отечественных публикаций показывает, что истощение традиционной сырьевой базы производства керамических стеновых материалов обусловливает вовлечение в производство отходов различных отраслей промышленности.

В ряде стран с развитым сельскохозяйственным производством (Испания, Франция, Чили) преобладает использование отходов агропромышленного комплекса для получения керамических строительных материалов.

Для нашей страны, на наш взгляд, приоритетным направлением должно быть использование отходов ГМК и ТЭК.

Утилизация крупнотоннажных отходов ГМК и ТЭК в керамические строительные материалы направлена на решение экологических и социальных проблем в регионах с развитой горнодобывающей и металлургической промышленностью, предприятиями ТЭК и т.д. Экономическая же эффективность использования отходов определяется тем, что техногенное сырье уже извлечено из недр, измельчено до тонкодисперсного состояния и уложено в отвалы [1, 2].

Анализ перспектив внедрения наилучших доступных технологий на предприятиях, производящих стекло и керамику в России, проведенный в работе [113], показал, что модернизация предприятий способствовала улучшению экологической результативности и энергоэффективности. Участие профильных предприятий в выявлении наилучших доступных технологий и определении порядка выдачи комплексных экологических разрешений позволит минимизировать риски перехода к новой системе экологического регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чантурия В. А.*, *Чаплыгин Н. Н.*, *Вигдергауз В. Е.* Ресурсосберегающие технологии переработки минерального сырья и охрана окружающей среды // Горный журнал. – 2007. – № 2. – С. 91–96.

2. *Столбоушкин А. Ю.* Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья. Дисс. докт. техн. наук. Новосибирск. – 2014. – 365 с.

3. *Павлов В. Ф.* Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов // Строительные материалы. – 2003. – № 8. – С. 28–30.

4. *Семенов А. А.* Рынок керамических стеновых материалов: итоги 2014 и прогноз на 2015 год // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 3–5.

5. *Семенов В. С.*, *Розовская Т. А.* Оценка качества стеновых керамических материалов по российским и европейским стандартам // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 6–9.

6. *Raut S. P.*, *Ralegaonkar R. V.*, *Mandavgane S. A.* Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // Construction and Building Materials. – 2011. – V. 25. – P. 4037–4042.

7. *Zhang L.* Production of bricks from waste materials – A review // Construction and Building Materials. – 2013. – V. 47. – P. 643–655.

8. *Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M. P., Mendívil Giry M. A., Muñoz Velasco L.* Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 63. – P. 97–107.

9. *Monteiro S. N., Fontes Vieira C. M.* On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 68. – P. 599–610.

10. *Kizinievič O., Žurauskiene R., Kizinievič V., Žurauskas R.* Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products // Construction and Building Materials. – 2013. – V. 41. – P. 464–473.

11. *Benlalla A., Elmoussaouiti M., Dahhou M., Assafi M.* Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks // Applied Clay Science. – 2015. – V. 118. – P. 171–177.

12. *Ukwatta A., Mohajerani A., Setunge S., Eshtiaghi N.* Possible use of biosolids in fired-clay bricks // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 91. – P. 86–93.

13. *Mymrine V., Ponte M. J.J.S., Ponte H. A., Kaminari N. M.S., Pawlowsky U., Solyon G. J.P.* Oily diatomite and galvanic wastes as raw materials for red ceramics fabrication // Construction and Building Materials. – 2013. – V. 41. – P. 360–364.

14. *Mymrin V. A.*, *Alekseev K. P.*, *Zelinskaya E. V.*, *Tolmacheva N. A.*, *Cat-ai R. E.* Industrial sewage slurry utilization for red ceramics production // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 66. – P. 368–374.

15. *Pérez-Villarejo L., Martínez-Martínez S., Carrasco-Hurtado B., Eliche-Quesada D., Ureña-Nieto C., Sánchez-Soto P. J.* Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks // Applied Clay Science. – 2015. – V. 105–106. – P. 89–99.

16. *El Fgaier F., Lafhaj Z., Chapiseau C.* Use of clay bricks incorporating treated river sediments in a demonstrative building: Case study // Construction and Building Materials. – 2013. – V. 48. – P. 160–165.

17. *Cultrone G., Sebastián E.* Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks // Construction and Building Materials. – 2009. – V. 23. – P. 1178–1184.

18. *Naganathan S., Mohamed A. Y.O., Mustapha K. N.* Performance of bricks made using fly ash and bottom ash // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 96. – P. 576–580.

19. *Sena da Fonseca B., Galhano C., Seixas D.* Technical feasibility of reusing coal combustion by-products from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks // Applied Clay Science. – 2015. – V. 104. – P. 189–195.

20. *Roy S., Adhikari G. R., Gupta R. N.* Use of gold mill tailings in making bricks: a feasibility study // Waste Management and Research. – 2007. – V. 25. – P. 475–482.

21. *Chen Y., Zhang Y., Chen T., Zhao Y., Bao S.* Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings // Construction and Building Materials. – 2011. – V. 25. – P. 2107–2111.

22. *Yang C., Cui C., Qin J., Cui X.* Characteristics of the fired bricks with low-silicon iron tailings // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 70. – P. 36–42.

23. *Kavas T.* Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick // Building and Environment. – 2006. – V. 41. N12. – P. 1779–1783.

24. *Liu W., Wu T., Li Z., Hao X., Lu A.* Preparation and characterization of ceramic substrate from tungsten mine tailings // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 77. – P. 139–144.

25. *Menezes R. R., Ferreira H. S., Neves G. A., Lira H. L., Ferreira H. C.* Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles // Journal of the European Ceramic Society. – 2005. – V. 25. N7. – P. 1149–1158.

26. *Bilgin N., Yeprem H. A., Arslan S., Bilgin A., Gunay E., Marşoglu M.* Use of waste marble powder in brick // Construction and Building Materials. – 2012. – V. 29. – P. 449–457.

27. *Sutcu M., Alptekin H., Erdogmus E., Er Y., Gencel O.* Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 82. – P. 1–8.

28. *Alonso-Santurde R., Coz A., Viguri J. R., Andrés A.* Recycling of foundry by-products in the ceramic industry: green and core sand in clay bricks // Construction and Building Materials. – 2012. – V. 27. – P. 97–106.

29. *Shih P. H., Wu Z. Z., Chiang H. L.* Characteristics of bricks made from waste steel slag // Waste Management. – 2004. – V. 24. N10. – P. 1043–1047.

30. *Perez-Villarejo L., Corpas-Iglesias F. A., Martinez-Martinez S., Artiaga R., Pascual-Cosp J.* Manufacturing new ceramic materials from clay and red mud derived from the aluminium industry // Construction and Building Materials. – 2012. – V. 35. – P. 656–665.

31. *Santos P., Martins C., Júlio E.* Enhancement of the thermal performance of perforated clay brick walls through the addition of industrial nano-crystalline aluminium sludge // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 101. – P. 227–238.

32. *Emrullahoglu Abi C. B.* Effect of borogypsum on brick properties // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 59. – P. 195–203.

33. *Contreras M., Martín M. I., Gázquez M. J., Romero M., Bolívar J. P.* Valorisation of ilmenite mud waste in the manufacture of commercial ceramic // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 72. – P. 31–40.

34. *Kusiorowski R., Zaremba T., Piotrowski J.* Influence of the type of precalcined asbestos containing wastes on the properties of sintered ceramics // Construction and Building Materials. – 2016. – V. 106. – P. 422–429.

35. *Malaiskiene J., Skripkiunas G., Vaiciene M., Kizinievic O.* The influence of mullite wool waste on the properties of concrete and ceramics // Construction and Building Materials. – 2016. – V. 110. – P. 8–16.

36. *Halil M. A., Turgut P.* Cotton and limestone powder waste as brick material // Construction and Building Materials. – 2008. – V. 22. – P. 1074–1080.

37. *Demir I.* An investigation on the production of construction brick with processed waste tea // Building and Environment. – 2006. – V. 41. – P. 1274–1278.

38. *Rahman M.A.* Properties of clay-sand-rice husk ash mixed bricks // International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete. 1987. – V. 9. – N2. – P. 105–108.

39. *Živcová Z., Gregorová E., Pabst W.* Alumina ceramics prepared with new pore-forming agents // Processing and Application of Ceramics. – 2008. – V. 2. – N1. – P. 1–8.

40. *Dolores La Rubia-Garcна M., Yebra-Rodríguez Á., Eliche-Quesada D., Corpas-Iglesias F.A., López-Galindo A.* Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production // Construction and Building Materials. – 2012. – V. 36. – P. 395–500.

41. *de la Casa J.A., Castro E.* Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 61. – P. 320–326.

42. *Eliche-Quesada D., Iglesias-Godino F.J., Pérez-Villarejo L., Corpas-Iglesias F.A.* Replacement of the mixing fresh water by wastewater olive oil extraction in the extrusion of ceramic bricks // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 68. – P. 659–666.

43. *Eliche-Quesada D. Azevedo-Da Cunha R., Corpas-Iglesias F.A.* Effect of sludge from oil refining industry or sludge from pomace oil extraction industry addition to clay ceramics // Applied Clay Science. – 2015. – V. 114. – P. 202–211.

44. *Aouba L., Bories C., Coutand M., Perrin B., Lemercier H.* Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: cases of olive stone flour and wheat straw residues // Construction and Building Materials. – 2016. – V. 102. – P. 7–13.

45. *Muñoz P., Morales M.P., Mendívil M.A., Juárez M.C., Muñoz L.* Using of waste pomace from winery industry to improve thermal insulation of fired clay bricks. Eco-friendly way of building construction // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 71. – P. 181–187.

46. *Cusidó J.A., Cremades L.V., Soriano C., Devant M.* Incorporation of paper sludge in clay brick formulation: Ten years of industrial experience // Applied Clay Science. – 2015. – V. 108. – P. 191–198.

47. *Mymrin V., Klitzke W., Alekseev K., Catai R.E., Nagalli A., dos Santos Izzo R.L., Romano C.A.* Red clay application in the utilization of paper production sludge and scrap glass to fabricate ceramic materials // Applied Clay Science. – 2015. – V. 107. – P. 28–35.

48. *Пищ И.В., Бирюк В.А., Климош Ю.А., Попов Р.Ю., Шидловский А.В.* Свойства керамических стеновых материалов при введении различных выгорающих компонентов // Стекло и керамика. – 2015. – № 2. – С. 19–23.

49. *Котляр В.Д., Устинов А.В., Ковалев В.Ю., Терехина Ю.В., Котляр А.В.* Керамические камни компрессионного формования на основе опок и отходов обогащения // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 44–46.

50. *Котляр В.Д., Землянская А.Г., Котляр А.В., Терехина Ю.В., Мирина В.А., Черенкова И.А.* Патент РФ № 2560014. Керамическая масса. – 2015. Бюл. № 23.

51. *Котляр В.Д., Землянская А.Г., Котляр А.В., Терехина Ю.В., Козлов А.В., Устинов А.В.* Патент РФ № 2566156. Керамическая масса. – 2015. Бюл. № 29.

52. *Малиновский Г. Н.*, *Мелешко В. Ю.*, *Сергиевич О. А.* Стеновые блоки на основе карбонатсодержащего трепела месторождения Стальное Республики Беларусь // Строительные материалы. – 2012. – № 12. – С. 12–16.

53. *Абдрахимов В. З.*, *Хасаев Г. Р.*, *Абдрахимова Е. С. Колпаков А. В.* Использование углеродсодержащих отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамических материалов различного назначения // Экология и промышленность России. – 2013. – № 9. – С. 30–33.

54. *Абдрахимов В. З.*, *Абдрахимова Е. С.* Использование шлака от сжигания угля Канско-Ачинского бассейна в производстве керамических материалов на основе межсланцевой глины // Экология и промышленность России. – 2014. – № 3. – С. 36–39.

55. *Корнилов А. В.*, *Пермяков Е. Н.*, *Лыгина Т. З.*, *Морозова С. В.* Патент РФ № 2496742. Керамическая масса. – 2013. Бюл. № 30.

56. *Никифорова Э. М.*, *Еромасов Р. Г.*, *Власов О. А.*, *Васильева М. Н.*, *Симонова Н. С.* Использование отходов обогащения флюоритовых руд в керамическом производстве // Обогащение руд. – 2014. – № 4. – С. 45–47.

57. *Еромасов Р. Г.*, *Никифорова Э. М.* Патент РФ № 2431625. Способ изготовления облицовочной плитки. – 2011. Бюл. № 29.

58. *Кара-сал Б. К., Долотова Р. Г., Ондар Э. Э., Биче-оол Н. М.* Патент РФ № 2250205. Керамическая масса для изготовления стеновых материалов. – 2005. Бюл. № 11.

59. *Сватовская Л. Б.*, *Масленникова Л. Л.*, *Бабак Н. А.*, *Бойкова Т. И.* Патент РФ № 2433980. Керамическая масса светлого тона для лицевого кирпича. – 2011. Бюл. № 32.

60. *Сватовская Л. Б.*, *Масленникова Л. Л.*, *Славина А. М.*, *Бабак Н. А.*, *Капустина О. А.* Патент РФ № 2412131. Шихта для изготовления керамического кирпича. – 2011. Бюл. № 5.

61. *Сватовская Л. Б., Масленникова Л. Л., Васильева И. В., Мякин С. В., Абу Хасан М., Кривокульская М. А.* Патент РФ № 2281925. Керамическая масса. – 2006. Бюл. № 23.

62. *Гурьева В. А.*, *Прокофьева В. В.* Структурно-фазовые особенности строительной керамики на основе техногенного магнезиального сырья и низкосортных глин // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 55–57.

63. *Худяков Л. И.*, *Войлошников О. В.*, *Котова И. Ю.* Керамические материалы на основе отходов горнодобывающей промышленности // Экология и промышленность России. – 2014. – № 2. – С. 27–29.

64. *Кара-сал Б. К.*, *Седип С. С.*, *Сат Д. Х.*, *Чульдум У. Д.* Патент РФ № 2566156. Керамическая масса для изготовления стеновых материалов. – 2010. Бюл. № 14.

65. *Ильина В. П.*, *Лебедева Г. А.*, *Щипцов В. В.* Патент РФ № 2446130. Керамическая масса для изготовления облицовочной плитки. – 2012. Бюл. № 9.

66. *Корнилов А. В.*, *Лыгина Т. З.*, *Лузин В. П.*, *Пермяков Е. Н.* Патент РФ № 2540705. Керамическая масса для получения стеновых изделий, преимущественно кирпича керамического. – 2015. Бюл. № 4.

67. *Фоменко А. И.*, *Каптюшина А. Г.*, *Грызлов В. С.* Расширение сырьевой базы для строительной керамики // Строительные материалы. – 2015. – № 12. – С. 25–27.

68. *Сватовская Л. Б.*, *Масленникова Л. Л.*, *Бабак Н. А.*, *Мархель Н. В.* Патент РФ № 2470895. Керамическая масса светлого тона для лицевого кирпича. – 2012. Бюл. № 36.

69. *Наумов А. А.*, *Трищенко Н. В.*, *Гуров Н. Г.* К вопросу улучшения качества и расширения ассортимента керамического кирпича для действующих заводов полусухого прессования // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 17–19.

70. *Абдрахимов В. З.*, *Хасаев Г. Р.*, *Абдрахимова Е. С. Колпаков А. В.*, *Рощупкина И. Ю.* Экологические, теоретические и практические аспекты использования алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения без применения природного традиционного сырья // Экология и промышленность России. – 2013. – № 5. – С. 28–32.

71. *Абдрахимов В. З.*, *Абдрахимова Е. С.*, *Кайракбаев А. К.* Использование отходов золоторудного месторождения, нефтехимии и энергетики в производстве керамических материалов – перспективное направление для «зеленой» экономики // Экология и промышленность России. – 2015. – № 5. – С. 37–41.

72. *Гурьева В. А.*, *Дубинецкий В. В.*, *Вдовин К. М.* Буровой шлам в производстве изделий строительной керамики // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 75–77.

73. *Галенко А. А.*, *Плешко М. В.* Керамическая плитка для внутренней облицовки стен с использованием техногенного сырья // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 60–65.

74. *Сватовская Л. Б.*, *Масленникова Л. Л.*, *Бабак Н. А.*, *Капустина О. А.* Патент РФ № 2416585. Керамическая масса. – 2011. Бюл. № 11.

75. *Столбоушкин А. Ю.* Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 10–13.

76. *Столбоушкин А. Ю.* Улучшение декоративных свойств стеновых керамических материалов на основе техногенного и природного сырья // Строительные материалы. – 2013. – № 8. – С. 24–29.

77. *Столбоушкин А. Ю.* Влияние добавки волластонита на формирование структуры стеновых керамических материалов из техногенного и природного сырья // Строительные материалы. – 2014. – № 8. – С. 13–17.

78. *Столбоушкин А. Ю.*, *Бердов Г. И.* Особенности тепло- и массообменных процессов при обжиге керамического кирпича из опудренных гранул // Известия вузов. Строительство. – 2010. – № 1. – С. 37–46.

79. *Столбоушкин А. Ю.*, *Бердов Г. И.*, Столбоушкина О. А., *Злобин В. И.* Влияние температуры обжига на формирование структуры керамических стеновых материалов из тонкодисперсных отходов обогащения железных руд // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 1. – С. 33–41.

80. *Столбоушкин А. Ю.*, *Иванов А. А.*, *Дружинин С. В.*, *Зоря В. Н.*, *Злобин В. И.* Особенности поровой структуры стеновых керамических материалов на основе углеотходов // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 46–51.

81. *Столбоушкин А. Ю.*, *Иванов А. И.*, *Зоря В. Н.* и др. Особенности грануляции техногенного и природного сырья для получения стеновой керамики // Строительные материалы. – 2012. – № 5. – С. 85–89.

82. *Столбоушкин А. Ю.*, *Иванов А. И.*, *Пермяков А. А.*, *Дружинин С. В.* Петрографические исследования структуры керамического кирпича из отходов Коркинского угольного разреза // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 49–53.

83. *Столбоушкин А. Ю.*, *Иванов А. И.*, *Стороженко Г. И.*, *Уразов С. Й.* Получение морозостойкого керамического кирпича полусухого прессования из промышленных отходов // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 4–7.

84. *Столбоушкин А. Ю.*, Столбоушкина О. А., *Бердов Г. И.* Оптимизация параметров прессования гранулированного техногенного и природного сырья для производства керамического кирпича // Строительные материалы. – 2013. – № 3. – С. 76–78.

85. *Столбоушкин А. Ю.*, Столбоушкина О. А., *Иванов А. И. и др.* Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе отходов обогащения углистых аргиллитов // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 2–3. – С. 28–36.

86. *Столбоушкин А. Ю.*, *Иванов А. А.*, *Дружинин С. В.*, *Зоря В. Н.*, *Злобин В. И.* Особенности поровой структуры стеновых керамических материалов на основе углеотходов // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 46–51.

87. *Иванов А. И.*, *Столбоушкин А. Ю.*, *Стороженко Г. И.* Принципы создания оптимальной структуры керамического кирпича полусухого прессования // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 65–69.

88. *Фомина О. А.*, *Столбоушкин А. Ю.* Формирование рациональной поровой структуры стеновой керамики из шламистых железорудных отходов // Строительные материалы. – 2015. – № 12. – С. 14–19.

89. *Калинников В. Т.*, *Макаров В. Н.*, *Суворова О. В.*, *Кулькова Н. М.* Патент № 2230047 РФ. Керамическая масса для изготовления стеновых кирпичных изделий. – 2003. Б.И. № 16.

90. *Макаров В. Н.*, *Суворова О. В.*, *Захарченко А. Н.*, *Кулькова Н. М.*, *Макаров Д. В.* Кислото- и абразивостойкая керамика с использованием вторичных продуктов горнопромышленного комплекса // Огнеупоры и техническая керамика. – 2004. – № 10. – С. 41–44.

91. *Макаров В. Н.*, *Локшин Э. П.*, *Захарченко А. Н.*, *Суворова О. В.* Патент № 2203246 РФ. Керамическая масса. – 2003. Бюл. № 12.

92. *Makarov D., Suvorova O., Pletneva V., Gerasimov S.* Building ceramic from mining wastes // Environment and Mineral Processing. Ostrava: VSB-TU, 2009. Part I. – P. 15–20.

93. *Суворова О. В.*, *Макаров Д. В.*, *Плетнева В. Е.* Получение керамических материалов на основе хвостов обогащения вермикулитовых и апатит-нефелиновых руд // Стекло и керамика. – 2009. – № 7. – С. 22–24.

94. *Suvorova O. V.*, *Makarov D. V.*, *Lashchuk V. V.* Potentialities for ceramic and glass production in Murmansk region, Russia from technogenic sources // Environment and Mineral Processing. Ostrava: VSB-TU, 2010. Part II. – P. 137–140.

95. *Суворова О. В.*, *Мелконян Р. Г.*, *Макаров Д. В.*, *Лащук В. В.* Использование техногенного сырья Мурманской области в производстве стекла и керамики // Техника и технология силикатов. – 2010. – № 3. – С. 23–29.

96. *Суворова О. В.*, *Мелконян Р. Г.*, *Бокарева В. А.*, *Макаров Д. В.*, *Беляевский А. Т.*, *Плетнева В. Е.* Обоснование получения керамических строительных материалов из отходов горнопромышленного комплекса // Техника и технология силикатов. – 2012. – № 2. – С. 19–25.

97. *Suvorova O. V.*, *Kumarova V. A.*, *Makarov D. V.*, *Melkonyan R. G.*, *Masloboev V. A.* Mining wastes in Murmansk region, Russia, as a source of ceramic building materials // Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 12–16, 2013. – V. 2. – P. 887–889.

98. *Суворова О. В.*, *Макаров Д. В.*, *Кумарова В. А.* Патент РФ № 2520308. Керамическая масса для изготовления облицовочной плитки. – 2014. Бюл. № 17.

99. *Makarov D., Suvorova O., Kumarova V., Manakova N., Melkonyan R.* Building materials from mining and concentration wastes of the Murmansk region, Russia // Proceedings of the XVI Balkan Mineral Processing Congress, Belgrade, Serbia, June 17–19, 2015. – V. 2. – P. 869–874.

100. *Ашмарин Г. Д.*, *Ласточкин В. Г.*, *Синянский В. И.*, *Илюхин В. В.*, *Курносов В. В.* Сокращение цикла термической обработки в технологии керамического кирпича компрессионного формования // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 42–43.

101. *Ашмарин А. Г.*, *Илюхина Л. Г.*, *Илюхин В. В.*, *Курносов В. В.*, *Синянский В. И.* Инновационные проекты производства конструктивных и теплоэффективных керамических материалов из местного сырья // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 57–59.

102. *Котляр В. Д.*, *Терехина Ю. В.*, *Котляр А. В.* Методика испытания камневидного сырья для производства стеновых керамических изделий компрессионного формования (в порядке обсуждения) // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 24–27.

103. *Полянчиков Ю. Н.*, *Полянчикова М. Ю.* Особенности изготовления керамических изделий ударным прессованием // Стекло и керамика. – 2014. – № 5. – С. 41–42.

104. *Иванова О. А.*, *Клевакин В. А.* Минералогический анализ как основа качества керамического кирпича // Строительные материалы. – 2010. – № 12. – С. 13–15.

105. *Зубехин А. П.*, *Яценко Н. Д.* Теоретические основы инновационных технологий строительной керамики // Строительные материалы. – 2014. – № 1–2. – С. 88–92.

106. *Iglesias I., García-Romero E., Acosta A.* Influence of dolomite microcrystals on the technological properties of Santa Cruz de Mudela clays used for building ceramics // Applied Clay Science. – 2014. – V. 102. – P. 261–267.

107. *Jordá J. D., Jordán M. M., Ibanco-Cañete R., Montero M. A., Reyes-Labarta J. A., Sánchez A., Cerdán M.* Mineralogical analysis of ceramic tiles by FTIR: A quantitative attempt // Applied Clay Science. – 2015. – V. 115. – P. 1–8.

108. *Крючков Ю. Н.* Особенности спекания керамических материалов // Стекло и керамика. – 2013. – № 11. – С. 29–34.

109. *Миндубаев А. А.*, *Габидуллин М. Г.*, *Рахимов Р. З.*, *Гильфанов Р. М.* Моделирование и оптимизация составов клинкерного кирпича на основе модифицированной легкоплавкой глины // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 27–29.

110. *Яковлев Г. И., Полянских М. С., Мачюлайтис Р., Керене Я., Малайшкене Ю., Кизеневич О., Шайбадуллина А. В., Гордина А. Ф.* Наномодифицирование керамических материалов строительного назначения // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 62–64.

111. *Mačiulaitis R., Keriene Ja., Yakovlev G., Kizinievič O., Malaiškiene Ju., Kizinievič V.* Investigation of the possibilities to modify the building ceramics by utilising MWCNTs // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 73. – P. 153–162.

112. *Женжурист И. А.* Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 36–40.

113. *Гусева Т. В.*, *Бегак М. В.*, *Молчанова Я. П.*, *Аверочкин Е. М.*, *Вартанян М. А.* Перспективы внедрения наилучших доступных технологий и перехода к комплексным экологическим разрешениям в производстве стекла и керамики (обзор) // Стекло и керамика. – 2014. – № 7. – С. 26–36. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Макаров Д. В. – доктор технических наук, зав. лабораторией,
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН,
e-mail: makarov@inep.ksc.ru,
Мелконян Р. Г. – доктор технических наук, профессор,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: mrg-kanazit@mail.ru,
Суворова О. В. [1] – кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: suvorova@chemy.kolasc.net.ru,
Кумарова В. А.[1] – аспирант, e-mail: pob-eda@mail.ru,
[1] Институт химии и технологии редких элементов
и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 5, pp. 254–281.

UDC 666.3

D.V. Makarov, R.G. Melkonyan, O.V. Suvorova, V.A. Kumarova

PROSPECTS FOR USING INDUSTRIAL WASTE IN PRODUCTION OF CERAMIC BUILDING MATERIALS

The article gives a review of international and Russian researches into use of various industrial waste to produce ceramic building materials—bricks, building stone, tiles. Basic technical requirements imposed on wall ceramics by Russian and European standards are examined. Classifications of industrial waste used in production of ceramic building materials are analyzed. It is shown that waste sometimes can improve properties of building materials. Utilizing huge volumes of waste, first of all, of mining–metallurgical and fuel-and-energy industries, in production of ceramic building materials is economically efficient and aims at meeting environmental and social challenges.

Key word: ceramic building materials, clay, baking, industrial waste, mining–metallurgical and fuel-and-energy industries.

AUTHORS

Makarov D.V., Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory,
Institute of Industrial Ecology Problems of the North, Kola Scientific Center,
Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia,
e-mail: makarov@inep.ksc.ru,
Melkonyan R.G., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: mrg-kanazit@mail.ru,
Suvorova O.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
e-mail: suvorova@chemy.kolasc.net.ru,
Kumarova V.A.[1], Graduate Student, e-mail: pob-eda@mail.ru,
[1] Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials
named after I.V. Tananaev, Kola Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
184209, Apatity, Russia.

REFERENCES

1. Chanturiya V.A., Chaplygin N.N., Vigdergauz V.E. *Gornyy zhurnal*. 2007, no 2, pp. 91–96.

2. Stolboushkin A.Yu. *Stenovye keramicheskie materialy matrichnoy struktury na osnove nespekayushchegosya maloplastichnogo tekhnogennogo i prirodnogo syr'ya* (Matrix-structure wall ceramics based on non-baking low-plastic industrial waste and natural raw materials), Doctor's thesis, Novosibirsk, 2014, 365 p.

3. Pavlov V.F. *Stroitel'nye materialy*. 2003, no 8, pp. 28–30.

4. Semenov A.A. *Stroitel'nye materialy*. 2015, no 4, pp. 3–5.

5. Semenov V.S., Rozovskaya T.A. *Stroitel'nye materialy*. 2013, no 4, pp. 6–9.

6. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction and Building Materials*. 2011, v. 25, pp. 4037–4042.

7. Zhang L. Production of bricks from waste materials A review. *Construction and Building Materials*. 2013, v. 47, pp. 643–655.

8. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M.P., Mendívil Giry M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material A review.*Construction and Building Materials*. 2014, v. 63, pp. 97–107.

9. Monteiro S.N., Fontes Vieira C.M. On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 68, pp. 599–610.

10. Kizinievič O., Žurauskiene R., Kizinievič V., Žurauskas R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. *Construction and Building Materials*. 2013, v. 41, pp. 464–473.

11. Benlalla A., Elmoussaouiti M., Dahhou M., Assafi M. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. *Applied Clay Science*. 2015, v. 118, pp. 171–177.

12. Ukwatta A., Mohajerani A., Setunge S., Eshtiaghi N. Possible use of biosolids in fired-clay bricks. *Construction and Building Materials*. 2015, v. 91, pp. 86–93.

13. Mymrine V., Ponte M.J.J.S., Ponte H.A., Kaminari N.M.S., Pawlowsky U., Solyon G.J.P. Oily diatomite and galvanic wastes as raw materials for red ceramics fabrication. *Construction and Building Materials*. 2013, v. 41, pp. 360–364.

14. Mymrin V.A., Alekseev K.P., Zelinskaya E.V., Tolmacheva N.A., Catai R.E. Industrial sewage slurry utilization for red ceramics production. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 66, pp. 368–374.

15. Pérez-Villarejo L., Martínez-Martínez S., Carrasco-Hurtado B., Eliche-Quesada D., Ureña-Nieto C., Sánchez-Soto P.J. Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks. *Applied Clay Science*. 2015, v. 105–106, pp. 89–99.

16. El Fgaier F., Lafhaj Z., Chapiseau C. Use of clay bricks incorporating treated river sediments in a demonstrative building: Case study. *Construction and Building Materials*. 2013, v. 48, pp. 160–165.

17. Cultrone G., Sebastián E. Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks. *Construction and Building Materials*. 2009, v. 23, pp. 1178–1184.

18. Naganathan S., Mohamed A.Y.O., Mustapha K.N. Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. *Construction and Building Materials*. 2015, v. 96, pp. 576–580.

19. Sena da Fonseca B., Galhano C., Seixas D. Technical feasibility of reusing coal combustion by-products from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks. *Applied Clay Science*. 2015, v. 104, pp. 189–195.

20. Roy S., Adhikari G.R., Gupta R.N. Use of gold mill tailings in making bricks: a feasibility study. *Waste Management and Research*. 2007, v. 25, pp. 475–482.

21. Chen Y., Zhang Y., Chen T., Zhao Y., Bao S. Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings. *Construction and Building Materials*. 2011, v. 25, pp. 2107–2111.

22. Yang C., Cui C., Qin J., Cui X. Characteristics of the fired bricks with low-silicon iron tailings. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 70, pp. 36–42.

23. Kavas T. Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick. Building and Environment. 2006, v. 41. N12, pp. 1779–1783.

24. Liu W., Wu T., Li Z., Hao X., Lu A. Preparation and characterization of ceramic substrate from tungsten mine tailings. *Construction and Building Materials*. 2015, v. 77, pp. 139–144.

25. Menezes R.R., Ferreira H.S., Neves G.A., Lira H.L., Ferreira H.C. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*. 2005, v. 25. N7, pp. 1149–1158.

26. Bilgin N., Yeprem H.A., Arslan S., Bilgin A., Gunay E., Marşoglu M. Use of waste marble powder in brick. *Construction and Building Materials*. 2012, v. 29, pp. 449–457.

27. Sutcu M., Alptekin H., Erdogmus E., Er Y., Gencel O. Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials. *Construction and Building Materials*. 2015, v. 82, pp. 1–8.

28. Alonso-Santurde R., Coz A., Viguri J.R., Andrés A. Recycling of foundry by-products in the ceramic industry: green and core sand in clay bricks. *Construction and Building Materials*. 2012, v. 27, pp. 97–106.

29. Shih P.H., Wu Z.Z., Chiang H.L. Characteristics of bricks made from waste steel slag. *Waste Management*. 2004, v. 24. N10, pp. 1043–1047.

30. Perez-Villarejo L., Corpas-Iglesias F.A., Martinez-Martinez S., Artiaga R., Pascual-Cosp J. Manufacturing new ceramic materials from clay and red mud derived from the aluminium industry. *Construction and Building Materials*. 2012, v. 35, pp. 656–665.

31. Santos P., Martins C., Júlio E. Enhancement of the thermal performance of perforated clay brick walls through the addition of industrial nano-crystalline aluminium sludge. *Construction and Building Materials*. 2015, v. 101, pp. 227–238.

32. Emrullahoglu Abi C.B. Effect of borogypsum on brick properties. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 59, pp. 195–203.

33. Contreras M., Martín M.I., Gázquez M.J., Romero M., Bolívar J.P. Valorisation of ilmenite mud waste in the manufacture of commercial ceramic. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 72, pp. 31–40.

34. Kusiorowski R., Zaremba T., Piotrowski J. Influence of the type of precalcined asbestos containing wastes on the properties of sintered ceramics. *Construction and Building Materials*. 2016, v. 106, pp. 422–429.

35. Malaiskiene J., Skripkiunas G., Vaiciene M., Kizinievic O. The influence of mullite wool waste on the properties of concrete and ceramics. *Construction and Building Materials*. 2016, v. 110, pp. 8–16.

36. Halil M. A., Turgut P. Cotton and limestone powder waste as brick material. *Construction and Building Materials*. 2008, v. 22, pp. 1074–1080.

37. Demir I. An investigation on the production of construction brick with processed waste tea // Building and Environment. 2006, v. 41, pp. 1274–1278.

38. Rahman M. A. Properties of clay-sand-rice husk ash mixed bricks. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*. 1987, v. 9. N2, pp. 105–108.

39. Živcová Z., Gregorová E., Pabst W. Alumina ceramics prepared with new pore-forming agents. *Processing and Application of Ceramics*. 2008, v. 2. N1, pp. 1–8.

40. Dolores La Rubia-Garcна M., Yebra-Rodríguez Á., Eliche-Quesada D., Corpas-Iglesias F. A., López-Galindo A. Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production. *Construction and Building Materials*. 2012, v. 36, pp. 395–500.

41. de la Casa J. A., Castro E. Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 61, pp. 320–326.

42. Eliche-Quesada D., Iglesias-Godino F. J., Pérez-Villarejo L., Corpas-Iglesias F. A. Replacement of the mixing fresh water by wastewater olive oil extraction in the extrusion of ceramic bricks. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 68, pp. 659–666.

43. Eliche-Quesada D. Azevedo-Da Cunha R., Corpas-Iglesias F. A. Effect of sludge from oil refining industry or sludge from pomace oil extraction industry addition to clay ceramics. *Applied Clay Science*. 2015, v. 114, pp. 202–211.

44. Aouba L., Bories C., Coutand M., Perrin B., Lemercier H. Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: cases of olive stone flour and wheat straw residues. *Construction and Building Materials*. 2016, v. 102, pp. 7–13.

45. Muñoz P., Morales M. P., Mendívil M. A., Juárez M. C., Muñoz L. Using of waste pomace from winery industry to improve thermal insulation of fired clay bricks. Eco-friendly way of building construction. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 71, pp. 181–187.

46. Cusidó J. A., Cremades L. V., Soriano C., Devant M. Incorporation of paper sludge in clay brick formulation: Ten years of industrial experience. *Applied Clay Science*. 2015, v. 108, pp. 191–198.

47. Mymrin V., Klitzke W., Alekseev K., Catai R. E., Nagalli A., dos Santos Izzo R. L., Romano C. A. Red clay application in the utilization of paper production sludge and scrap glass to fabricate ceramic materials. *Applied Clay Science*. 2015, v. 107, pp. 28–35.

48. Pishch I. V., Biryuk V. A., Klimosh Yu. A., Popov R. Yu., Shidlovskiy A. V. *Steklo i keramika*. 2015, no 2, pp. 19–23.

49. Kotlyar V. D., Ustinov A. V., Kovalev V. Yu., Terekhina Yu. V., Kotlyar A. V. *Stroitel'nye materialy*. 2013, no 4, pp. 44–46.

50. Kotlyar V. D., Zemlyanskaya A. G., Kotlyar A. V., Terekhina Yu. V., Mirina V. A., Cherenkova I. A. *Patent RU 2560014*, 2015.

51. Kotlyar V. D., Zemlyanskaya A. G., Kotlyar A. V., Terekhina Yu. V., Kozlov A. V., Ustinov A. V. *Patent RU 2566156*, 2015.

52. Malinovskiy G. N., Meleshko V. Yu., Sergievich O. A. *Stroitel'nye materialy*. 2012, no 12, pp. 12–16.

53. Abdrakhimov V. Z., Khasaev G. R., Abdrakhimova E. S. Kolpakov A. V. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2013, no 9, pp. 30–33.

54. Abdrakhimov V. Z., Abdrakhimova E. S. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2014, no 3, pp. 36–39.

55. Kornilov A. V., Permyakov E. N., Lygina T. Z., Morozova S. V. *Patent RU 2496742*, 2013.

56. Nikiforova E. M., Eromasov R. G., Vlasov O. A., Vasil'eva M. N., Simonova N. S. *Obogashchenie rud*. 2014, no 4, pp. 45–47.

57. Eromasov R. G., Nikiforova E. M. *Patent RU 2431625*, 2011.

58. Kara-sal B. K., Dolotova R. G., Ondar E. E., Biche-ool N. M. *Patent RU 2250205*, 2005.
59. Svatovskaya L. B., Maslennikova L. L., Babak N. A., Boykova T. I. *Patent RU 2433980*, 2011.
60. Svatovskaya L. B., Maslennikova L. L., Slavina A. M., Babak N. A., Kapustina O. A. *Patent RU 2412131*, 2011.
61. Svatovskaya L. B., Maslennikova L. L., Vasil'eva I. V., Myakin S. V., Abu Khasan M., Krivokul'skaya M. A. *Patent RU 2281925*, 2006.
62. Gur'eva V. A., Prokof'eva V. V. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 4, pp. 55–57.
63. Khudyakov L. I., Voyloshnikov O. V., Kotova I. Yu. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2014, no 2, pp. 27–29.
64. Kara-sal B. K., Sedip S. S., Sat D. Kh., Chul'dum U. D. *Patent RU 2566156*, 2010.
65. Il'ina V. P., Lebedeva G. A., Shchiptsov V. V. *Patent RU 2446130*, 2012.
66. Kornilov A. V., Lygina T. Z., Luzin V. P., Permyakov E. N. *Patent RU 2540705*, 2015.
67. Fomenko A. I., Kaptyushina A. G., Gryzlov V. S. *Stroitel'nye materialy*. 2015, no 12, pp. 25–27.
68. Svatovskaya L. B., Maslennikova L. L., Babak N. A., Markhel' N. V. *Patent RU 2470895*, 2012.
69. Naumov A. A., Trishchenko N. V., Gurov N. G. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 4, pp. 17–19.
70. Abdrakhimov V. Z., Khasaev G. R., Abdrakhimova E. S. Kolpakov A. V., Roshchupkina I. Yu. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2013, no 5, pp. 28–32.
71. Abdrakhimov V. Z., Abdrakhimova E. S., Kayrakbaev A. K. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2015, no 5, pp. 37–41.
72. Gur'eva V. A., Dubinetskiy V. V., Vdovin K. M. *Stroitel'nye materialy*. 2015, no 4, pp. 75–77.
73. Galenko A. A., Pleshko M. V. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 4, pp. 60–65.
74. Svatovskaya L. B., Maslennikova L. L., Babak N. A., Kapustina O. A. *Patent RU 2416585*, 2011.
75. Stolboushkin A. Yu. *Stroitel'nye materialy*. 2011, no 2, pp. 10–13.
76. Stolboushkin A. Yu. *Stroitel'nye materialy*. 2013, no 8, pp. 24–29.
77. Stolboushkin A. Yu. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 8, pp. 13–17.
78. Stolboushkin A. Yu., Berdov G. I. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2010, no 1, pp. 37–46.
79. Stolboushkin A. Yu., Berdov G. I., Stolboushkina O. A., Zlobin V. I. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2014, no 1, pp. 33–41.
80. Stolboushkin A. Yu., Ivanov A. A., Druzhinin S. V., Zorya V. N., Zlobin V. I. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 4, pp. 46–51.
81. Stolboushkin A. Yu., Ivanov A. I., Zorya V. N. *Stroitel'nye materialy*. 2012, no 5, pp. 85–89.
82. Stolboushkin A. Yu., Ivanov A. I., Permyakov A. A., Druzhinin S. V. *Stroitel'nye materialy*. 2013, no 4, pp. 49–53.
83. Stolboushkin A. Yu., Ivanov A. I., Storozhenko G. I., Urazov S. Y. *Stroitel'nye materialy*. 2011, no 12, pp. 4–7.
84. Stolboushkin A. Yu., Stolboushkina O. A., Berdov G. I. *Stroitel'nye materialy*. 2013, no 3, pp. 76–78.
85. Stolboushkin A. Yu., Stolboushkina O. A., Ivanov A. I. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2013, no 2–3, pp. 28–36.
86. Stolboushkin A. Yu., Ivanov A. A., Druzhinin S. V., Zorya V. N., Zlobin V. I. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 4, pp. 46–51.
87. Ivanov A. I., Stolboushkin A. Yu., Storozhenko G. I. *Stroitel'nye materialy*. 2015, no 4, pp. 65–69.
88. Fomina O. A., Stolboushkin A. Yu. *Stroitel'nye materialy*. 2015, no 12, pp. 14–19.

89. Kalinnikov V. T., Makarov V. N., Suvorova O. V., Kul'kova N. M. *Patent RU 2230047*, 2003.
90. Makarov V. N., Suvorova O. V., Zakharchenko A. N., Kul'kova N. M., Makarov D. V. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika*. 2004, no 10, pp. 41–44.
91. Makarov V. N., Lokshin E. P., Zakharchenko A. N., Suvorova O. V. *Patent RU 2203246*, 2003.
92. Makarov D., Suvorova O., Pletneva V., Gerasimov S. Building ceramic from mining wastes. *Environment and Mineral Processing*. Ostrava: VSB-TU, 2009. Part I, pp. 15–20.
93. Suvorova O. V., Makarov D. V., Pletneva V. E. *Steklo i keramika*. 2009, no 7, pp. 22–24.
94. Suvorova O. V., Makarov D. V., Lashchuk V. V. Potentialities for ceramic and glass production in Murmansk region, Russia from technogenic sources. *Environment and Mineral Processing*. Ostrava: VSB-TU, 2010. Part II, pp. 137–140.
95. Suvorova O. V., Melkonyan R. G., Makarov D. V., Lashchuk V. V. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2010, no 3, pp. 23–29.
96. Suvorova O. V., Melkonyan R. G., Bokareva V. A., Makarov D. V., Belyaevskiy A. T., Pletneva V. E. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2012, no 2, pp. 19–25.
97. Suvorova O. V., Kumarova V. A., Makarov D. V., Melkonyan R. G., Masloboev V. A. Mining wastes in Murmansk region, Russia, as a source of ceramic building materials. *Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress*, Sozopol, Bulgaria, June 12 16, 2013, v. 2, pp. 887–889.
98. Suvorova O. V., Makarov D. V., Kumarova V. A. *Patent RU 2520308*, 2014.
99. *Makarov D., Suvorova O., Kumarova V., Manakova N., Melkonyan R.* Building materials from mining and concentration wastes of the Murmansk region, Russia. *Proceedings of the XVI Balkan Mineral Processing Congress*, Belgrade, Serbia, June 17–19, 2015, v. 2, pp. 869–874.
100. Ashmarin G. D., Lastochkin V. G., Sinyanskiy V. I., Ilyukhin V. V., Kurnosov V. V. *Stroitel'nye materialy*. 2013, no 4, pp. 42–43.
101. Ashmarin A. G., Ilyukhina L. G., Ilyukhin V. V., Kurnosov V.V., Sinyanskiy V. I. *Stroitel'nye materialy*. 2015, no 4, pp. 57–59.
102. Kotlyar V. D., Terekhina Yu. V., Kotlyar A. V. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 4, pp. 24–27.
103. Polyanchikov Yu. N., Polyanchikova M. Yu. *Steklo i keramika*. 2014, no 5, pp. 41–42.
104. Ivanova O. A., Klevakin V. A. *Stroitel'nye materialy*. 2010, no 12, pp. 13–15.
105. Zubekhin A. P., Yatsenko N. D. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 1–2, pp. 88–92.
106. Iglesias I., García-Romero E., Acosta A. Influence of dolomite microcrystals on the technological properties of Santa Cruz de Mudela clays used for building ceramics. *Applied Clay Science*. 2014, v. 102, pp. 261–267.
107. Jordá J. D., Jordán M. M., Ibanco-Cañete R., Montero M. A., Reyes-Labarta J. A., Sánchez A., Cerdán M. Mineralogical analysis of ceramic tiles by FTIR: A quantitative attempt. *Applied Clay Science*. 2015, v. 115, pp. 1–8.
108. Kryuchkov Yu. N. *Steklo i keramika*. 2013, no 11, pp. 29–34.
109. Mindubaev A. A., Gabidullin M. G., Rakhimov R. Z., Gil'fanov R. M. *Stroitel'nye materialy*. 2013, no 4, pp. 27–29.
110. Yakovlev G. I., Polyanskikh M. S., Machyulaytis R., Kerene Ya., Malayshkene Yu., Kizenevich O., Shaybadullina A. V., Gordina A. F. *Stroitel'nye materialy*. 2013, no 4, pp. 62–64.
111. Mačiulaitis R., Keriene Ja., Yakovlev G., Kizinievič O., Malaiškiene Ju., Kizinievič V. Investigation of the possibilities to modify the building ceramics by utilising MWCNTs. *Construction and Building Materials*. 2014, v. 73, pp. 153–162.
112. Zhenzhurist I. A. *Stroitel'nye materialy*. 2014, no 4, pp. 36–40.
113. Guseva T. V., Begak M. V., Molchanova Ya. P., Averochkin E. M., Vartanyan M. A. *Steklo i keramika*. 2014, no 7, pp. 26–36.