

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 628.477:691

**ОБЗОР НАПРАВЛЕНИЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ
В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ****Шишакина О.А., Паламарчук А.А.***Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,
e-mail: olya.shishakina@mail.ru*

В современном мире утилизация техногенных отходов является серьезной проблемой. Техногенными принято называть отходы различных промышленных предприятий, однако к ним также принято относить отходы теплоэлектростанций и строительный мусор. Так как количество техногенных отходов значительно превышает количество отходов жилищно-коммунального хозяйства, разработка новых методов их утилизации является как никогда актуальной. Существуют различные способы утилизации техногенных отходов, однако наиболее перспективным и быстро развивающимся направлением их переработки является их использование в производстве строительных материалов. В зависимости от химического состава и физического состояния для каждого типа отходов существует свой оптимальный метод переработки. Например, отходы гальванического, металлургического и горнопромышленного производств, представляющие собой в основном шлаки и шламы, наиболее рационально использовать как наполнитель для различных строительных материалов (керамики, цемента и асфальтобетонных смесей), а также для засыпки при прокладке дорог и выравнивании рельефа. Отходы стекла обычно перерабатывают в стекловату, но также возможно производство пеностекла, интерьерной плитки и жидкого стекла. Отходы резины и пластмасс используют для производства полимерпесчаной плитки, теплоизоляционных материалов, а также для получения топливно-энергетических ресурсов методом пиролиза. Использование переработанных материалов уменьшает количество отходов, отправляемых на свалки, и сокращает добычу глины и других полезных ископаемых, необходимых для производства строительных материалов. Переработка отходов также снижает потребление энергии, поскольку для производства продукта из отходов обычно требуется меньше энергии, чем для его изготовления из первичного сырья. Это, в свою очередь, помогает сократить использование топлива в производстве и помогает снизить загрязнение окружающей среды.

Ключевые слова: утилизация, техногенные отходы, строительные материалы, шлаки, золы, шламы, стеклобой

**TECHNOLOGY OVERVIEW OF TECHNOLOGY WASTE DISPOSAL
IN THE MANUFACTURE OF CONSTRUCTION MATERIALS****Shishakina O.A., Palamarchuk A.A.***Vladimir State University A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: olya.shishakina@mail.ru*

In the modern world, the disposal of industrial waste is a serious problem. Man-made is called waste of various industrial enterprises, but it is also customary to include waste of thermal power plants and construction waste. Since the amount of industrial waste significantly exceeds the amount of waste of housing and communal services, the development of new methods for their disposal is more relevant than ever. There are various ways to dispose of man-made waste, but the most promising and rapidly developing direction of their processing is their use in the production of building materials. Depending on the chemical composition and physical condition of each type of waste there is an optimal method of processing. For example, the waste of galvanic, metallurgical and mining industries, which are mainly slags and slurries, is most rationally used as a filler for various building materials (ceramics, cement and asphalt mixes), as well as for backfilling when laying roads and leveling the terrain. Glass waste is usually processed into glass wool, but it is also possible to produce foam glass, interior tile and liquid glass. Waste rubber and plastics used for the production of polymer tiles, thermal insulation materials, as well as fuel and energy resources by pyrolysis. The use of recycled materials reduces the amount of waste sent to landfills, and reduces the extraction of clay and other minerals necessary for the production of building materials. Recycling also reduces energy consumption, since the production of a product from waste usually requires less energy than its production from primary raw materials. This, in turn, helps reduce fuel use in manufacturing and helps reduce environmental pollution.

Keywords: recycling, industrial waste, building materials, slags, ashes, sludges, cullet

Техногенными являются отходы промышленного производства, к которым относятся твердые, жидкие и газообразные отходы, образующиеся на предприятиях в процессе получения конечного продукта из сырья. В первую очередь техногенные отходы представляют собой остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции или выполнении работ и утратившие полностью

или частично исходные потребительские свойства.

В настоящее время в Российской Федерации на промышленных предприятиях ежегодно образуется около 36 млн. т пылевидных и газообразных отходов, 45 км³ сточных вод и до 10 млрд т твердых отходов, из которых основную часть составляют золы и шлаки тепловых электростанций (ТЭС), отходы добычи и обогащения полез-

ных ископаемых, отходы металлургических производств, строительные отходы, а также отходы химической и лесной промышленности [1].

При этом согласно данным Росприроднадзора вторично используется или обезвреживается только 10–20 % образующихся отработанных материалов, а остальная их часть отправляется на хранение, постепенно накапливаясь. Общее количество накопленных к настоящему времени отходов и масса образующихся ежегодно отходов на один-два порядка выше общей мощности предприятий народного хозяйства.

Накопление техногенных отходов, с одной стороны, приводит к загрязнению окружающей среды, а с другой, является следствием нерационального использования первичных природных ресурсов, запасы большинства которых ограничены и исчерпаемы. Переработка техногенных отходов может стать источником большого количества сырья для химической, строительной и металлургической промышленности [2].

В связи с этим утилизация техногенных отходов является актуальной экологической и экономической задачей. К основным отраслям промышленности, в которых техногенные отходы могут быть использованы в качестве вторичных ресурсов, относятся производство строительных материалов (цемент, кирпич, блоки), производство металлов, агропромышленный комплекс, стекольная, химическая и нефтехимическая промышленности. В настоящее время применение техногенных отходов в строительстве является главным направлением переработки техногенных отходов, которое позволяет перерабатывать различные виды отходов в большом количестве с получением изделий достаточно высокого качества [3].

Целью данной работы является анализ современного состояния и перспектив развития различных направлений утилизации техногенных отходов для производства строительных материалов.

Утилизация зольных и шлаковых отходов

Ценность зольных и шлаковых отходов достаточно высока, чтобы их попросту выбрасывать. Самыми важными для строительной отрасли и первое место по объему среди отходов черной металлургии имеют доменные шлаки – побочный продукт при выплавке чугуна из железных руд – доменные, марганцевые, ферромарганцевые. В их состав может входить до 30 различных химических элементов, преимущественно в виде оксидов, среди которых в наибольшем количестве содержатся SiO_2 , Al_2O_3 ,

CaO , MgO , а в меньших количествах присутствуют FeO , MnO , P_2O_5 , V_2O_5 и др. Первым освоенным методом переработки доменного шлака является грануляция. Суть данного процесса в быстром охлаждении расплава шлака, благодаря чему шлак приобретает стекловидную структуру и высокую химическую активность.

Доменные и электротермофосфорные шлаки в случае гранулирования и соответствия требованиям ГОСТ 3476-74 могут использоваться в производстве цемента. Альтернативное применение шлаков черных металлов заключается в их использовании для изготовления минеральной ваты. Основным источником сырья в данном случае выступает щебень из металлургического шлака доменного, технические условия отбора которого прописаны в ГОСТ 18866-93. Для заполнения бетонов можно также использовать так называемую шлаковую пемзу, представляющую собой пористый щебень из металлургического шлака [4, 5]. Спросом пользуются и доменные шлаки из отвалов, образующихся при сливе отходов в отвал. Эти заполнители являются кусками породы с размером частиц до 120 мм. Столь большие размеры заполнителя ограничивают сферу применения шлакового щебня. В основном столь крупный заполнитель применяется при прокладке дорог, а также в качестве грунтовки под нижний слой бетонных покрытий [6].

Золошлаковые отходы ТЭС наиболее широко используются в цементной промышленности в качестве медленнотвердеющего самостоятельного вяжущего для дорожного строительства как активная гидравлическая добавка в сочетании с неорганическими, битумными или полимерно-битумными вяжущими, в качестве наполнителя или малоактивной добавки взамен части цемента [7].

Активное применение золошлаковых отходов при изготовлении силикатного кирпича позволяет значительно сократить использование извести (экономия может составлять от 10 до 50 % в зависимости от состава) и песка (экономия около 30 %). Кирпичи, изготовленные по такой технологии, легче обычных в среднем на 10 %. При производстве керамики топливные зола и шлак часто используются как выгорающие и отошающие добавки, а при производстве зольных керамических изделий являются основным компонентом. Основными преимуществами изделий из зольной керамики являются низкая истираемость, а также высокая устойчивость к нагреву и воздействию кислот. Наибольшее количество золошлаковых отходов применяется

в дорожном строительстве, где они применяются для засыпки неровностей рельефа, а также как наполнитель асфальтобетонных покрытий. Как наполнитель зола применяется также при производстве мастики для рулонных кровельных материалов [8].

Утилизация шламовых отходов

К шламовым отходам относятся осадки суспензий, получаемых в металлургических и химических производствах в результате процессов, осуществляемых гидрохимическим способом. Этот вид техногенных отходов является источником больших запасов вторичного сырья для производства строительных материалов.

Основной разновидностью шламовых отходов являются буровые шламы, под которыми понимается водная взвесь, в которой твердые частицы являются веществами, образующимися при разрушении поверхности отбитой горной породы и при истирании инструмента, опускаемого в скважины. Твердая составляющая бурового шлама может быть представлена также глинистыми минералами.

Эффективной технологией утилизации буровых отработок является их солидификация, проводимая путем смешивания очищенного бурового шлама со специальными сорбентами и цементом. Произведенный таким образом обезвреженный продукт применяется в изготовлении материалов для строительства.

К шламовым отходам также относятся гальваношламы (гальванические отходы), получаемые при очистке сточных вод промышленных предприятий, занимающихся нанесением гальванических покрытий. Гальваношламы содержат в своем составе соли тяжелых и цветных металлов, кислоты, ПАВ и по своему физическому состоянию представляют собой пасту от темно-серого до темно-коричневого цвета.

На данный момент разработаны технологии утилизации отходов гальванических производств с получением наполнителя для различных строительных материалов и изделий, например: керамическая плитка, керамзит, силикатный и керамический кирпич, синтетический каучук, бетон, керамзит и др. Также активно используются гальваношламы в качестве добавок в цементный раствор для кладки кирпича и в асфальтобетонную смесь [9]. Утилизация гальванических отходов путем добавления в асфальтобетонную смесь позволяет примерно на 30 % сэкономить щебеночный наполнитель.

Последние исследования показывают, что применение гальванических шламов, образующихся в результате реагентной

очистки сточных вод гальванических цехов, в производстве строительной керамики приводит к повышению пористости и водопоглощения при снижении прочности, морозостойкости и теплопроводности [10]. Использование гальванического шлама совместно с плавнями и добавками, образующими стекловидную фазу, позволяет придать стекловидной фазе прочность, химическую и термическую стойкости [11]. Существуют разработки по применению гальванических шламов в качестве наполнителя при получении полимерных композиционных защитных покрытий [12].

Утилизация отходов горнопромышленного производства

Отвалы, образующиеся после разработок полезных ископаемых, содержат большое количество ценного для строительной области сырья, например мела, глины, песка и других. Отвалы предприятий по обогащению руд содержат ещё более ценные компоненты, руды цветных металлов, к примеру, используют при получении композиционных вяжущих материалов, огнеупоров, облицовочных материалов, минерального волокна и других видов продукции [13]. На данный момент отвалы обогатительных предприятий практически не используются. Однако последние исследования обнаружили возможность использования отходов обогащения и добычи полезных ископаемых при производстве пористых заполнителей для керамических изделий, силикатного кирпича, штукатурных и кладочных растворов, активно используемых в строительстве. Такое использование отходов обогащения позволяет не только удешевить производство и создавать новые материалы с уникальными свойствами, но и значительно снизить загрязнённость окружающей среды.

Некоторые шлаковые расплавы в результате силикатного распада превращаются в тонкодисперсный порошок, «доменную муку», которая почти полностью состоит из гидравлически активного белита (фаза двухкальциевого силиката C_2S) и может применяться как активная минеральная добавка без дополнительного помола, что экономически весьма целесообразно [14].

Утилизация отходов резины и пластмасс

Сложнее по сравнению с минеральными отходами поддаются переработке отходы пластика и резины. Однако благодаря новейшим технологиям переработки из этих отходов также можно получить вторсырьё для производства материалов, в том числе строительного назначения. Наиболее

крупнотоннажными и распространенными резиновыми отходами являются шины. Накопленный опыт утилизации шин показывает, что наиболее распространенными методами их утилизации являются сжигание для получения тепла, пиролиз для получения жидкого топлива, близкого по свойствам к бензину, и твердого топлива, которое может служить заменой древесному углю. Также весьма популярно изготовление резиновой крошки для замены синтетического и натурального каучука при производстве различных резиновых изделий [15].

Измельченные изделия из резины применяют для производства изоляционных материалов, напольных покрытий, звукоизоляционных материалов, дренажных матов.

Изделия из пластика дробятся, перемешиваются и плавятся, а готовую массу охлаждают. Подготовленный таким образом агломерат повторно измельчают и используют для изготовления полимерпесчаной массы, которая может быть использована в производстве различных изделий, в основном строительного назначения.

В строительстве отходы пластмасс в первую очередь применяются в качестве связующих для получения композиционных материалов и изделий, в которых наиболее перспективным направлением является применение измельченных отходов в качестве наполнителей [16–18]. Отходы пластмасс также применяют в композициях с традиционными строительными материалами с целью модификации их свойств, для получения звукоизоляционных плит и панелей, в производстве герметиков, используемых при возведении зданий, гидротехнических сооружений и т.д. [19].

Утилизация стекольных отходов

Отходы стекла (стеклобой) могут иметь самое разное происхождение – стеклянные бутылки, разбитые листовые стекла, стекловолокно, брак при производстве зеркального стекла. Существует множество вариантов их использования, но чаще всего используются следующие:

– Стекловата, которая является отличным тепло- и звукоизолятором. При её изготовлении стеклобой переплавляют в специальное волокно, являющееся основой продукта. Применение отходов значительно снижает стоимость стекловолокна, что способствует большему распространению этого универсального утеплителя;

– Теплоизоляционные, к которым относятся в первую очередь пеностекло, представляющее собой стекловидный материал, пронизанный многочисленными равномерными порами. Отличается малым объемным

весом, низким коэффициентом теплопроводности и малым водопоглощением. Также на основе стеклобоя могут быть получены пенокремнезит, пенобетон, пеностеклокристаллические материалы и др. [20, 21];

– Жидкое стекло (силикатный клей), являющееся универсальным материалом и широко используемое в различных производственных и бытовых сферах. В строительстве жидкое стекло используется для гидроизоляции, как добавка в бетон и т.д. Стеклобоя заменяют песок при производстве жидкого стекла, что снижает стоимость продукции.

– Интерьерная плитка, получаемая из стекольных отходов по следующей технологии: стекло, измельченное до необходимого размера, замешивается со специальной смолой. Готовая композиция разливается по формам и выдерживается на воздухе для затвердевания. Технология очень проста и позволяет получать плитку различных размеров и форм. Плитка имеет «дорогой» внешний вид и обладает водоотталкивающими свойствами.

Наряду с перечисленными направлениями стекольные отходы могут применяться в качестве наполнителя в производстве облицовочных изделий [16] и в качестве добавки, являющейся источником стекловидной фазы в производстве самоглазующейся строительной керамики [22, 23] и других разновидностей керамических изделий [24].

Утилизация отходов химической промышленности

Отходы химической промышленности, содержащие сульфат кальция в той или иной форме, являются источником для производства следующих гипсовых и ангидрированных вяжущих и изделий [25, 26]:

– Фосфогипс, получаемый на основе отходов фосфорных удобрений из апатитов и фосфоритов. Он представляет собой $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с примесями неразложившегося апатита (или фосфорита) и неотмытой фосфорной кислоты. За счет использования фосфогипса можно полностью покрыть потребности нашей страны в гипсе;

– Фторгипс (фторангидрит), получаемый на основе побочных продуктов производства фтористоводородной кислоты, безводного фтористого водорода, фтористых солей. По составу это CaSO_4 с примесями исходного неразложившегося флюорита. Он может содержать также не отмытую серную кислоту;

– Титаногипс, получаемый на основе продуктов сернокислотного разложения титаносодержащих руд;

– Борогипс, получаемый на основе отходов производства борной кислоты;

– Сульфогипс, получаемый на основе отходов, образующихся при улавливании серного ангидрида из дымовых газов ТЭС.

После соответствующей обработки, включающей отмывку от остатков кислот, очистку от механических примесей, обжига и дробления до необходимого размера все вышеперечисленные отходы превращаются в высококачественное гипсовое связующее, используемое для производства строительных растворов, гипсокартона и гипсовых статуэток для украшения интерьеров. Отмытый и очищенный, но необожженный гипс может использоваться как наполнитель в производстве различных композиционных материалов для увеличения плотности.

Утилизация древесных отходов

Древесные отходы относятся к одним из наиболее широко применяемых в различных областях. В строительной индустрии древесные отходы могут применяться в следующих областях:

– Опилки могут использоваться для изготовления кирпичей и гипсовых листов;

– Из стружек можно изготавливать древесно-стружечные и цементно-стружечные плиты, которые используются при строительстве домов.

– Щепы, преимущественно хвойных пород, идет на производство уникального по своим характеристикам строительного материала арболита.

Одним из основных методов переработки древесных отходов в строительные материалы является получение плитных материалов [27]. На современной стройке трудно обойтись без ОСП – ориентированно-стружечных плит, представляющих собой многослойный материал из клееной щепы. ОСП характеризуются высокой прочностью и долговечностью. Для их изготовления используется крупная тонкая щепа, каждый слой которой укладывают перпендикулярно предыдущему [28].

Мелкие опилки используют для изготовления ДВП – древесно-волокнутой плиты. Подобное изделие незаменимо не только в строительстве, но и в мебельном производстве. Для тех же целей применяют ДСП – древесно-стружечную плиту. Она характеризуется высокой прочностью и простотой обработки.

Заключение

Таким образом, одним из эффективных путей решения проблемы накопления техногенных отходов в больших количествах является вторичное их использование в ка-

честве наполнителей, либо модифицирующих добавок в производстве строительных материалов и изделий. Как видно из приведенных в данной работе сведений, применение техногенных отходов в качестве вторичных ресурсов позволяет не только уменьшить загрязнение окружающей среды отходами, но и дает возможность получить качественный продукт при экономии первичного сырья, что снижает себестоимость производства.

Список литературы

1. Иванова О.А., Реховская Е.О. Утилизация и переработка пластиковых отходов // Молодой ученый. 2015. № 21. С. 54–56. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/101/22978> (дата обращения: 23.02.2019).
2. Волюнкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 2 (20). С. 43–49.
3. Ветешкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления. М.: Лань, 2016. 304 с.
4. Металлургический шлак и золошлаковые отходы [Электронный ресурс]. URL: <http://xlom.ru/recycling-and-disposal/metallurgicheskij-shlak-i-zoloshlakovye-othody/> (дата обращения: 23.02.2019).
5. Patil S.B., Vyas A.K., Gupta A.B., Patil R.S. Imperial smelting furnace slag as fine aggregate in cement concrete mixes. Journal of solid waste technology and management. Widener University, USA. 2016. Vol. 42. No. 2. P.128–136.
6. Бабачев Г.Н. Золы и шлаки в производстве строительных материалов / Пер. с болгарского Л. Шариновой. Киев: Будшмельник, 1987. 136 с.
7. Ефимов Н.Н., Яценко Е.А., Смолий В.А., Косарев А.С., Копица В.В. Экологические аспекты и проблемы утилизации и рециклинга золошлаковых отходов тепловых электростанций // Экология промышленного производства. 2011. № 2. С. 40–44.
8. Горшков Р.К. Использование вторичных ресурсов в промышленности строительных материалов: методология и практика: монография. М.: Экслибрис-Пресс, 2004. 288 с.
9. Использование промышленных отходов в производстве строительных материалов [Электронный ресурс]. URL: <https://infourok.ru/statya-ispolzovanie-promishlennih-othodov-v-proizvodstve-stroitelnyh-materialov-3421162.html> (дата обращения: 23.02.2019).
10. Воробьева А.А., Шахова В.Н., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П., Чухланов В.Ю. Получение облицовочной керамики с эффектом остекловывания на основе малопластичной глины и техногенного отхода Владимирской области // Стекло и керамика. 2018. № 2. С. 13–17.
11. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Использование отходов, содержащих тяжелые металлы, для получения кислотоупорной керамики с эффектом самоглазурования // Экология промышленного производства. 2018. № 2. С. 2–6.
12. Trifonova T.A., Selivanov O.G., Chukhlanova N.V., Selivanova N.V. Polymeric Coatings Composition Based on Modified Oligopiperylene Styrene Binders with Galvanic Sludge as a Filler. Chemical Engineering and Science, Newark, De. USA. 2013. Vol. 1. No. 4. P. 75–78.
13. Худякова Л.И. Использование отходов горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. Т. 2. № 2 (6). С. 45–56.
14. Проблема утилизации техногенных отходов промышленности [Электронный ресурс]. URL: <https://>

knowledge.allbest.ru/ecology/2c0b65625b2bc69b4d43a88421316c36_0.html (дата обращения: 23.02.2019).

15. Чупшев В.Б. Использование вторичных отходов мусороперерабатывающих заводов в производстве строительных материалов // Строительные материалы. 2007. № 2. С. 45.

16. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стеклянных отходов // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2–6.

17. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. № 10–3. С. 459–465.

18. Шахова В.Н., Воробьева А.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 11–2. С. 320–325.

19. Кулифеев В.К., Тарасов В.П., Кропачев А.Н. Комплексное использование сырья и отходов. Переработка техногенных отходов: курс лекций. М.: Изд. дом МИСиС, 2009. 90 с.

20. Чупрова Л.В. Отходы производства и потребления стекла как сырье для получения качественной продукции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12–4. С. 640–644.

21. Elkersh H., El-Haggar S. Recycling of lead crystal glass sludge to produce foam glass // International journal of environmental technology & management. Inderscience Publishers.UK.2015. Vol. 18. No. 5–6. P. 448–464.

22. Маркова А.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Чухланов В.Ю., Подолец А.А. Комплексная утилизация отходов

Владимирской области в производстве высокопрочной строительной керамики из местной малопластичной глины // Экология промышленного производства. 2016. № 3 (95). С. 14–17.

23. Шахова В.Н., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Получение облицовочной керамики с использованием несортированного боя тарных стекол // Экология и промышленность России. 2019. № 2. С. 36–41.

24. Lin K.L., Lee T.C., Hwang C.L. Effects of sintering temperature on the characteristics of solar panel waste glass in the production of ceramic tiles. Journal of material cycles and waste management. Springer-verlag Tokyo inc. Japan. 2014. Vol. 17. No. 1. P. 194–200.

25. Полянских И.С., Игнатъева А.Д., Мазитов М.О., Луппов Ю.В. Применение техногенных отходов в качестве сырья для производства строительных материалов и изделий // Студенческий. 2018. № 1–1 (21). С. 6–9. [Электронный ресурс]. URL: <https://sibac.info/journal/student/21/93793> (дата обращения: 23.02.2019).

26. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников Ю.С. Минеральные вяжущие вещества. Технология и свойства. Учебник. Репр. изд. 1979 г. 3-е изд., перераб., доп. М.: КноРус, 2016. 480 с.

27. Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Эффективные строительные материалы и изделия из техногенных отходов для жилищного строительства // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2017. № 2. С. 26–37.

28. Совершенствование и повышение долговечности строительных конструкций на основе вторичного сырья Приморья: науч.-практ. рекомендации. Вып.5 / Дальневосточ. гос. техн. ун-т; под общ. ред. П.П. Ступаченко. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 1995. 70 с.