



РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ХИМВОДОПОДГОТОВКИ В ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД (ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ)

Королев¹ В.И., Зверева² Э.Р

^{1,2}Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
ORCID*:0000-0002-7632-2642 ezidepakes@gmail.com¹
ORCID*: 0000-0003-2285-6312 belvira6@list.ru²

Резюме: ЦЕЛЬ. Рассмотреть опыт применения отходов химводоподготовки в хозяйственной деятельности. Провести анализ научных публикаций российских и зарубежных авторов с целью определения наиболее востребованных отраслей промышленности в данном отходе и информации о уже реализованных в России и за рубежом проектах. Предоставить краткий анализ по основным направлениям переработки и утилизации осадков сточных вод в мире и в России. Оценить перспективы использования отходов химводоподготовки при обработке осадков сточных вод. МЕТОДЫ. Для решения поставленной цели проведена оценка экологического воздействия отходов химводоподготовки на экологическую обстановку и здоровье людей на примере Казанской ТЭЦ-1 (КТЭЦ-1). Проведен ряд исследований карбонатного шлама КТЭЦ-1 по определению гранулометрического и элементного состава. РЕЗУЛЬТАТЫ. Физико-химический состав карбонатного шлама зависит от ряда параметров системы водоподготовки на объекте энергетики: процесса известкования и коагуляции воды, количества нерастворимых солей, применяемой технологии обезвоживания и т.д. Карбонатный шлам нерастворим в воде, имеет типовой химический состав, содержащим карбонат кальция (CaCO_3), оксид кальция (CaO), карбонат магния (MgCO_3), оксид магния (MgO), гидроксид железа ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), диоксид кремния (SiO_2) и др. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Использование такого типа технологического процесса позволяет снизить количество используемого оксида кальция и заместить его оксидом кальция из карбонатного шлама. Использование карбонатного шлама в качестве стабилизатора осадка из-за содержания CaO подтверждается лабораторными исследованиями. За счет этих данных обеспечивается утилизация отходов химводоподготовки, достигается меньшее загрязнение объектов окружающей среды.

Ключевые слова: ТЭК; карбонатный шлам; отходы химводоподготовки; осадок сточных вод; утилизация осадка; реагентное обеззараживание осадков; негашеная известь.

Благодарности: Результаты получены при финансовой поддержке Ассоциации граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования «МАКО» в лице президента Голышенковой Ольги Михайловны.

Для цитирования: Королев В.И., Зверева Э.Р. Российский опыт применения отходов химводоподготовки в хозяйственной деятельности: перспективы использования при обработке осадков сточных вод (обзорная статья). 2022. Т.24. № 6. С. 47-62. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-6-47-62.

RUSSIAN EXPERIENCE IN THE USE OF CHEMICAL WATER TREATMENT WASTE IN ECONOMIC ACTIVITY: PROSPECTS FOR USE IN THE TREATMENT OF SEWAGE SLUDGE (REVIEW ARTICLE)

VI. Korolev¹, ER. Zvereva²

^{1,2} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

ORCID*:0000-0002-7632-2642 ezidepakes@gmail.com¹
ORCID*: 0000-0003-2285-6312 belvira6@list.ru²

Abstract: *PURPOSE. To consider the experience of using chemical water treatment waste in economic activity. To analyze scientific publications of Russian and foreign authors in order to determine the most popular industries in this waste and information about projects already implemented in Russia and abroad. To provide a brief analysis of the main areas of processing and disposal of sewage sludge in the world and in Russia. To assess the prospects for the use of chemical water treatment waste in the treatment of sewage sludge. METHODS. To achieve this goal, an assessment of the environmental impact of chemical water treatment waste on the environmental situation and human health was carried out on the example of Kazan CHP-1 (KTEC-1). A number of studies of KTEC-1 carbonate sludge have been carried out to determine the granulometric and elemental composition. results. The physico-chemical composition of carbonate sludge depends on a number of parameters of the water treatment system at an energy facility: the process of liming and coagulation of water, the amount of insoluble salts, the dewatering technology used, etc. Carbonate sludge is insoluble in water, has a typical chemical composition containing calcium carbonate (CaCO_3), calcium oxide (CaO), magnesium carbonate (MgCO_3), magnesium oxide (MgO), iron hydroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), silicon dioxide (SiO_2), etc. CONCLUSION. The use of this type of technological process makes it possible to reduce the amount of calcium oxide used and replace it with calcium oxide from carbonate sludge. The use of carbonate sludge as a sediment stabilizer due to the CaO content is confirmed by laboratory studies. Due to these data, the disposal of chemical water treatment waste is ensured, less pollution of environmental objects is achieved.*

Keywords: *fuel and energy complex; carbonate sludge; chemical water treatment waste; sewage sludge; sludge disposal; reagent disinfection of sediments; quicklime.*

Acknowledgments: *The results were obtained with the financial support of the Association of Citizens and Organizations for the Promotion of Corporate Education «МАКО» in the person of President Golysheva Olga Mikhailovna.*

For citation: Korolev VI, Zvereva ER. Russian experience in the use of chemical water treatment waste in economic activity: prospects for use in the treatment of sewage sludge (review article). *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022;24(6):47-62. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-6-47-62.

Введение

В Российской Федерации количество образуемых отходов на объектах негативного воздействия на окружающую среду, генерирующих тепло и электроэнергию, составляет около 40 % от общего количества производственных отходов (без учета отходов, образующихся при добыче энергоресурсов) и оценивается примерно в 90-95 млн тонн в год. При этом объем накопленных на территории России золошлаковых отходов (ЗШО) приближается к 2 млрд т, размещенных на территориях более чем 22 000 га [1].

Правительство России в июне 2020 года утвердило Энергетическую стратегию до 2035 года. В документе впервые установлен целевой показатель утилизации золошлаков тепловых электростанций: к 2035 году объем их полезного использования должен составлять не менее 50 % от годового уровня образования по отрасли в целом [2]. По данным Минэнерго России, в 2018 году данный показатель составлял 8,4 %. Этот уровень был взят за базовый в Энергостратегии-2035 [3].

Отвалы ЗШО являются источниками негативного воздействия на компоненты окружающей среды и представляют опасность как для растительного и животного мира, так и для здоровья граждан, живущих в непосредственной близости к объектам их размещения. На отвалах должны соблюдаться определенные правила хранения, поскольку воздействие таких природных факторов как ветровая эрозия, дождевые и талые воды приводят к загрязнению грунтовых и поверхностных водных источников, атмосферного воздуха и почв мелкодисперсной пылью и токсичными элементами в ЗШО [4].

Важно отметить, что в независимости от вида используемого топлива (уголь, мазут, газ) для генерации тепла и электроэнергии на объектах топливно-энергетического комплекса (ТЭК) необходимо проводить химводоподготовку теплоносителя, в большинстве случаев это вода. В результате типового процесса работы систем химводоподготовки (известкования и коагуляции в осветлителях) образуется большое количество карбонатного шлама. Традиционно шламы химводоподготовки (ХВО) складываются и временно накапливаются в шламоотвалах [4].

Настоящая статья является описательной для оценки степени возможного применения отходов ХВО в хозяйственной деятельности в качестве предмета исследования. Проведен анализ технологий, основанные на принципе «отходы-в-ресурс», при котором возможно достижение «нулевого» размещения производственных отходов на территории предприятий, что удовлетворяет условиям реализации циркулярной экономики на предприятиях ТЭК.

Научная значимость заключается в нахождении технологического решения повторного применения отходов химводоподготовки в промышленном обороте, и его соответствие условиям реализации циркулярной экономики на предприятиях топливно-энергетического комплекса, с целью предотвращения эколого-экономического ущерба на окружающую среду.

Практическая значимость заключается в повторном использовании карбонатного шлама в промышленном обороте, что позволит не только сократить их количество на шламоотвалах, но и предотвратить складирование вновь образующиеся отходов, тем самым создавать безотходные производства и снизить нагрузку объектов ТЭК на окружающую среду.

Литературный обзор

Проведен литературный обзор научных трудов, используя ресурсы поисковых систем и научных электронных библиотек «КиберЛенинка», eLIBRARY.RU, Google Scholar по вышеуказанным ключевым словам. В обзорной статье использованы научные статьи, содержащие доказательную экспериментальную базу применения и определенными ресурсами, аргументами и фактами, которые помогают разобраться в ситуации, подталкивая к определенному пути действий. Также в статье использованы результаты исследований, выполненных авторами.

На текущий момент, объекты ТЭК ежегодно вкладывают значительные финансовые и человеческие ресурсы на содержание, эксплуатацию и реконструкцию действующих отвалов карбонатного шлама, а также на строительство и отчуждения огромных территорий земельных участков под новые отвалы, что приводит к изъятию земель из промышленного и сельскохозяйственного производства. Все эти издержки потенциально влияют на повышение себестоимости генерации тепла и электроэнергии, платы за негативное воздействие на окружающую среду [1]. Таким образом, перед объектами ТЭК стоит задача по решению проблемы дальнейшей обработки, хранения и утилизации ЗШО с получением экологической и экономически выгодной продукции.

Возможные способы и практический опыт использования карбонатного шлама в качестве вторичного сырья приведен в таблице 1.

Таблица 1

Способ использования карбонатного шлама в различных отраслях промышленности*

Отрасль экономики (деятельность)	Способ использования
Строительство	1. В качестве компонента для производства стеновых изделий кирпича (силикатный, глинистый) и гипсополистиролбетонных стеновых панелей; сухие строительные смеси [6-12]. 2. В качестве добавки к сырьевой смеси для производства бетонов, цементов, бетоны, растворов; мелкий заполнитель; микрозаполнитель в асфальтобетон [13-16]. 3. В качестве компонента материалов для строительства дорог: для строительства обсыпки нижних слоев дорожных покрытий из укрепленных грунтов дорог, аэродромов, автострад.
Энергетика	1. Повышение показателей эффективности с использованием присадок на эксплуатационные свойства топочных мазутов [17-19].
Сельское хозяйство	1. В качестве мелиоранта для известкования кислых почв [21-22]. 2. В производстве минеральных удобрений [23-24].
Инженерная экология (природоохранные мероприятия)	1. В качестве адсорбента для очистки дымовых газов [25-27]. 2. В качестве адсорбента для очистки сточных вод [28-30]. 3. В качестве адсорбционной осушки природного газа [31]. 4. В качестве добавки в искусственные почвогрунтовые смеси и в качестве рекультивационного материала для рекультивации земель [32-33].

Примечание * – перечислены основные направления

Экологическое воздействие объектов размещения отходов ХВО (карбонатного шлама).

В данный момент на территории Российской Федерации действующими являются 90 специализированных объектов размещения отходов на территориях которых, размещены 1 352,782 тыс. тонн отходов ХВО энергетики, согласно сведениям федеральной статистической отчетности 2-ТП (отходы) по кодам федерального классификационного каталога (ФККО) в таблице 2 [34].

Таблица 2

Отходы химводоподготовки, согласно сведениям федеральной статистической отчетности 2-ТП (отходы)

Номер ФККО	Наименование	Кол-во отходов, т
6 12 282 25 30 4	Осадок при отстое вод взрыхления осадка, регенерации, отмывки ионообменных фильтров водоподготовительных установок	18 457
6 18 211 01 20 4	Отходы механической очистки внутренних поверхностей котельно-теплогового оборудования и баков водоподготовки от отложений	2
7 10 110 02 39 5	Отходы (осадки) водоподготовки при механической очистке природных вод	1 222 401
7 10 200 00 00 0	Отходы при водоподготовке	379
7 10 200 00 00 0	Отходы при водоподготовке	100 112

Отдельно энергетика Татарстана является одним из центральных секторов экономики России, обеспечивающий производство, транспортировку и сбыт электрической и тепловой энергии. В настоящее время на территории Республики Татарстан действующими являются 5 специализированных объектов размещения отходов ХВО (таблица 3).

Таблица 3

Объекты размещения отходов химводоподготовки на территории Республики Татарстан

№	Наименование	Организация	Населенный пункт Республики Татарстан
1	Шламоотвал Нижнекамской ТЭЦ	ООО «Нижнекамская ТЭЦ»	г. Нижнекамск
2	Шламоотвал Нижнекамской ТЭЦ (ПТК-1)	АО «ТГК-16»	г. Нижнекамск
3	Шламонакопитель Казанской ТЭЦ-3 (шлам ХВО)	АО «ТГК-16»	г. Казань
4	Кировский золошлакоотвал Казанской ТЭЦ-2	АО «Татэнерго»	г. Казань
5	Шламоотстойник Казанской ТЭЦ-1	АО «Татэнерго»	г. Казань

Из-за значительного количества образуемых отходов, согласно законодательным требованиям, собственники объектов размещения отходов должны проводить мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды в пределах их воздействия на окружающую среду в целях предотвращения негативных изменений качества окружающей среды [35]. Для осуществления наблюдений за состоянием и загрязнением окружающей среды на территории объекта размещения отходов привлекаются организации (лаборатории), имеющие соответствующую область аккредитации по определению:

1. Качества и загрязнения подземных вод;
2. Микробиологических и паразитологических показателей загрязненности подземных вод;
3. Степени загрязненности почвы;
4. Уровня загрязненности атмосферного воздуха;

Перечни наблюдаемых показателей состояния загрязнения окружающей среды, количество и расположение контрольных точек, а также периодичность проведения наблюдений определяются и согласовываются с уполномоченным органом власти для получения достоверной информации, позволяющей предотвратить опасность загрязнения.

В ходе проведения оценки экологического воздействия объектов размещения отходов энергетики в Республике Татарстан, по имеющимся в открытом доступе данным отчетов о результатах мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территории шламоотстойника филиала АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-1 за 2018-2021 гг. (далее – Объект).

1. Воздействие Объекта на атмосферный воздух не наблюдается, т.к. значение показателей по взвешенным веществам из года в год остаются на одном уровне, это вероятнее всего обусловлено тем, что отход «Отходы водоподготовки при механической очистке природных вод» находится во влажном состоянии (влажность более 60%), тем самым оказывает минимальное «пыление» (таблица 4).

Таблица 4

Показатели воздействия Объекта на атмосферный воздух

Наименование показателя	Фоновое загрязнение	Данные за 2018 г.	Данные за 2019 г.	Данные за 2020 г.	Данные за 2021 г.
Взвешенные вещества, мг/м ³	0,157	0,26	<0,26	<0,26	<0,26

2. Влияние Объекта размещения отходов на подземные воды не представляется объективно определить, т.к. не наблюдается характерные изменения показателей загрязненности подземных вод шламовыми водами, входящими в состав отхода (таблица 5).

Таблица 5

Показатели воздействия Объекта на подземные воды

Наименование показателя	Данные за 2018 г.	Данные за 2019 г.	Данные за 2020 г.	Данные за 2021 г.
Перманганатная окисляемость, мг/л	5,01	3,41	0,59	5,34
Нефтепродукты, мг/л	0,019	0,01	0,02	0,03
Аммоний-ион, мл/л	0,14	0,1	0,33	0,27
Хлориды, мг/л	22,18	16,32	13,16	15,44
СПАВ, мг/л	0,017	0,025	0,02	0,02
Марганец, мг/л	0,008	0,013	0,02	0,01
Алюминий, мг/л	0,094	0,067	0,053	0,09
Свинец, мг/л	0,001	0,0013	0,003	0,01
Никель, мг/л	0,005	0,0055	0,011	0,01
Железо, мг/л	0,39	0,428	1,245	0,13
Минерализация, мг/л	223,66	257,58	190,75	189,67
Магний, мг/л	20,6	17,2	14,04	16,06
Фенолы, мг/л	<0,0005	0,017	0,005	<0,0005
Мутность, мг/л	20,74	32,6	46,36	11,8
Запахи, баллы	4,54	1,75	0,8	0,58

3. Относительно данных имеющихся за весь период наблюдений начиная с 2018 г. по настоящее время демонстрирует, что количественный состав загрязняющих веществ почвы меняется без какой-либо системности (таблица 6):

Таблица 6

Показатели воздействия Объекта на почвы

Наименование показателя	Данные за 2018 г.	Данные за 2019 г.	Данные за 2020 г.	Данные за 2021 г.
рН водной вытяжки	7,1	8,7	8,0	6,8
Медь, мг/кг	0,9	24,96	13,0	26,4
Никель, мг/кг	<1	4,36	3,4	0,95
Кадмий, мг/кг	<0,02	<0,02	<0,10	0,11
Цинк, мг/кг	31,3	38,0	65,6	62,0
Свинец, мг/кг	16,4	17,5	8,2	<2,5
Хром (валовый), мг/кг	15,3	9,3	3,1	2,9
Марганец (валовый), мг/кг	123	116	104	72

Исходя из вышеизложенного, определить результативность мер по уменьшению последствий влияния Объекта крайне сложно, однако, вопрос отчуждения больших

территорий для размещения отходов энергетики, которые практически безвозвратно изымаются из полезного использования остается актуальным даже после их рекультивации. Также содержание таких сооружений требует значительных эксплуатационных затрат, повышающих себестоимость производства энергоносителей.

Анализ научных публикаций российских и зарубежных авторов показал, что карбонатный шлам представляют собой универсальный материал для получения различных видов продукции и использования в различных отраслях промышленности. Наиболее востребованным карбонатный шлам в строительной отрасли, а также в качестве сорбционного материала при реализации технологических и технических решений различных природоохранных мероприятий по очистке выбросов, сточных вод и рекультивации.

Тем самым проблема утилизации отходов энергетики возникла не сегодня и не вчера и вопрос их вовлечения в хозяйственный оборот (в том числе с получением вторичной продукции) недостаточно регулируется на законодательном уровне [36].

Материалы и методы

Физико-химический состав карбонатного шлама.

Карбонатный шлам образуется при процессе известкования и коагуляции природной воды, в результате образуется отход с типовым химическим составом, содержащим карбонат кальция (CaCO_3), оксид кальция (CaO), карбонат магния (MgCO_3), оксид магния (MgO), гидроксид железа (Fe(OH)_3), диоксид кремния (SiO_2) и др. Процентное соотношение химического состава карбонатного шлама зависит от содержания минеральных примесей в используемой при очистке природной воды [37].

По результатам исследований Исхаковой Р.Я. и Николаевой Л.А. [38], Захаровой С.В. [39], Голубчикова М.А. [40], Коровкина М.О. [41], Кузьминой Т.И. [42] шлам ХВО содержит в себе следующий химический состав (таблица 7) и физико-химические показатели (таблица 8):

Таблица 7

Химический состав карбонатного шлама ХВО

Состав	Химический состав в процентах по массе, %
Кальцит CaCO_3	68,9 - 71,7%
Гидроксид магния	8,8 - 11,0%
Гидроксид кальция Ca(OH)_2	1,7 - 1,9%
Диоксид кремния (кварц) SiO_2	0,68 - 0,8%
Другие вещества, в т.ч. органические	12,0 – 18,0%

Таблица 8

Физико-химические показатели шлама водоподготовки КТЭЦ-1

Показатели	Размер частиц шлама, мм					
	< 0,09	0,09 – 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 1,4	> 1,4	Непросеянный
Гранулометрический состав, %	53,91	12,18	6,37	4,99	21,836	100
Насыпная плотность, г/см ³	0,876	0,833	-	-	0,824	0,85
Удельная поверхность, м ² /г	4,6	3,3	3,0	2,4	1,5	2,8
Адсорбция, мг/г	2,3	1,65	1,5	1,2	0,75	1,41
Зольность, %	82,3	82,1	84,5	86,7	88,1	89,4
Влажность, %	0,71	0,76	0,73	0,65	0,59	0,66
Растворимость в технической воде, %	0,709	0,663	0,688	0,701	0,716	0,734

Результаты

В рамках написания обзорной статьи были проведены исследования карбонатного шлама ХВО Казанской ТЭЦ-1, а именно [43]:

1. Гранулометрического состава с применением лазерного анализатора крупности частиц «Horiba LA-960A2», в соответствии нормативной документации ISO 13320 по протоколу испытаний 199-ТИ-22 от 17.06.2022 (таблица 9):

Таблица 9

Гранулометрический состава шлама водоподготовки КТЭЦ-1

Образец	Размер фракций в мкм, содержание в %											Ср. разм., мкм	Уд. площадь см ² /см ³
	≤1	1-5	5-10	10-40	40-60	60-80	80-100	100-150	150-200	200-300	≥300		
Шлам	н/о	1,48	19,12	65,52	5,04	2,46	1,51	2,10	1,33	1,44	н/о	27,19	4275,6
Шлам + УЗ	н/о	5,39	34,47	54,52	1,87	0,88	0,61	1,00	0,67	0,59	н/о	17,32	5926,2

УЗ – 1 минута ультразвукового воздействия 30 Вт, 40кГц.

н/о – частицы в данной фракции не обнаружены.

2. Элементного состава методом ICP с применением эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Avio 500 по протокол испытаний 199-Х-22 от 28.06.2022 (таблица 10):

Таблица 10

Элементный состава шлама водоподготовки КТЭЦ-1

Определяемый компонент, на абсолютно-сухую навеску, масс. %	масс. %	Нормативная документация
SiO ₂	6,32	НСАМ № 120-Х НСАМ № 487-ХС
MgO	4,25	
CaO	43,88	
Потеря при прокаливании	40,01	НСАМ № 118-Х НСАМ № 120-Х
CO ₂	35,16	НСАМ № 230-Х

3. Рентгенографического анализа для определения фазового состава с применением рентгеновского дифрактометра Rigaku SmartLab по протоколу испытаний 199-Ф-22 от 27.06.2022 (таблица 11):

Таблица 11

Фазовый состав шлама водоподготовки КТЭЦ-1

Фазовый состав	Содержание, % масс.	Нормативная документация
Кальцит	95	И НСОММИ № 29 МС ФГУП «ВИМС» ТПИ 2.29.Ф.1991
Кварц	3	
Барит	1	
Доломит	1	

Учитывая наличие нерастворимых солей кальция и магния, карбонатный шлам нерастворим в воде. Гранулометрический состав и насыпная плотность карбонатного шлама и его параметров, зависит от переменных значений зольности, влаги и применяемой системы водоподготовки на объекте энергетики.

Обсуждение

Перспективы использования отходов химводоподготовки при обработке осадков сточных вод.

Основными направлениями переработки и утилизации осадков сточных вод в мире и в России являются следующие:

- захоронения непосредственно на иловых площадках;
- сушка и биотермическое обеззараживание на иловых площадках;
- реагентные способы обеззараживания;
- анаэробное сбраживание с получением биогаза;
- сжигание;
- термокаталитическое окисление;
- жидкофазное окисление;
- технологии с применением низкотемпературной плазмы;
- пиролиз и др.

Главные недостатки практически всех этих методов – это необходимость применения дорогих реагентов, высокое энергопотребление и образование взрывчатых газов в процессе переработки [44].

Технология складирования осадков на иловых картах не только морально устарела, но и из-за отсутствия в мировой практике универсальных способов утилизации создает ряд социальных, экологических и экономических проблем, что подтверждает необходимость нахождения новых подходов и технологий по обращению с осадками на иловых картах. Все эти готовые технологии обезвоживания, очистки и обеззараживания повлияли на большое количество написаний научных работ и проектов, по комбинированию различных подходов утилизаций осадков и вот некоторые из них:

1. В соответствии с Директивой Совета 86/278/ЕЕС от 12.06.1986 «О защите окружающей среды и в особенности почв при использовании в сельском хозяйстве осадков сточных вод» в странах Европейского союза с 2005 г. иловых осадков сточных вод (ОСВ) были использованы следующим образом: 52 % – в сельском хозяйстве, 38 % – сожжены, 10 % – складированы [45].

2. Китайские специалисты предлагают отказаться от практики сжигания ОСВ в пользу анаэробного брожения с последующим внесением осадка в каменистую почву с высоким содержанием известняка. На ряде объектов имеет место применение реагента с недоказанной эффективностью «ингибитора-стимулятора», призванного обеспечить дезинвазию осадка [38].

3. У австрийских ученых результативным оказался метод анаэробного сбраживания с последующей аэробной стабилизацией ОСВ. Результаты были подтверждены при проведении эксперимента на крупных очистных сооружениях. В результате исследования было показано, что данная технология снижала содержание органического вещества до 16% и при этом распадалось до 98% азотных соединений;

4. В фермерских хозяйствах Евросоюза, Индии, Канады, Австралии действуют установки по сбору биогаза с применением метантенков. Однако, высокую эффективность установок сложно обеспечить из-за неустойчивого процесса брожения осадков;

5. Ряд европейских стран вместо складирования на иловых полях применяют технологию «Geotube», у которой имеется ряд преимуществ по сравнению с «классическим» методом обезвоживания, а именно: ниже себестоимость обезвоживания осадка из-за отсутствия сложных элементов и конструкций; отсутствие попадания атмосферных осадков и ожигения кека; возможность оперативного обезвоживания осадка и/или временного складирования в месте его образования.

6. Одним из более реализуемых методов является обработка ОСВ негашеной известью, с добавлением в качестве наполнителя древесные опилки или кору. Негашеная известь (СаО) позволяет поглотить влагу и повысить температуру полученной смеси

При обработке СаО в смеси ОСВ с древесными опилками или корой увеличивает щелочность среды ($pH > 8$), что в свою очередь останавливается процесс кислого брожения, исчезает неприятный запах, гибнут практически все патогенные микроорганизмы, что приводит к снижению показателя КОЕ до нуля. Данный способ обработки осадков сточных вод негашеной известью применяют в Финляндии, Германии, Швеции, США и других странах. В

7. В ряде стран Евросоюза и США минерально-матричные технологии, при которых ОСВ обрабатывают гидролизированными дисперсными алюмосиликатами в виде добавки. В последующем осадок подвергается депонированию на бросовых землях, при рекультивации оврагов, участках, нарушенных при добыче ОПИ и маркшейдерских работ. Такой опыт применялся еще во времена существования СССР.

В зависимости от химического состава, методов обработки и показателей осадки сточных вод могут использоваться в качестве:

- - органических удобрений;
- - органоминеральных удобрений;
- - органо-известковых удобрений;
- - почвогрунтов (растительных грунтов) для биологической рекультивации;
- - рекультивантов (инертного материала) для технической рекультивации;
- - изолирующих материалов на объектах размещения отходов;
- - сырья для производства фосфорных удобрений;
- - сырья для получения биогаза с целью последующего производства тепловой и электрической энергии;
- - сырья для производства цемента.

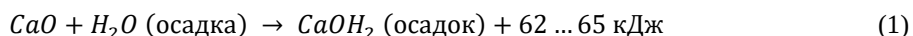
Анализ литературных данных, информации о уже реализованных в России, и за рубежом проектах по обеззараживанию и стабилизации осадков сточных вод показал, что

одним из наиболее экономически целесообразных, технологичных и простых способов снижения их санитарной и экологической опасности является использование в качестве основного реагента негашеную известь (СаО) [46].

Известь издавна использовалась для обработки открытых выгребных ям и мест захоронений домашних животных. До 1970 г. в литературе было очень мало информации о характере действия извести на осадки, обрабатывавшиеся с целью получения стабильного материала. Позднее появилось множество статей, описывающих эффективность применения извести для уменьшения бактерицидного воздействия сточных вод.

В первом сообщении о применении извести при обработке ОСВ очистной станции Аллентон (штат Пенсильвания) указано, что известь кондиционирует сброженный осадок при pH от 10,2 до 11 и после вакуум-фильтрации не имеет запаха и оказывается лишенным патогенных кишечных бактерий [47]. Кампельмахер и Ян [48] опубликовали сходные результаты экспериментов. Эванс [49] отметил, что известь, добавляемая к осадку, обуславливает выделение аммиака, разрушает бактерии колифаги, обеспечиваются удовлетворительные условия стабилизации осадков перед их окончательным удалением, а осадок становится хорошим источником азота и извести для почвы.

Результаты других исследований демонстрируют, что при pH > 10 ОСВ теряют запах, а развитие в них эпидемиологических микроорганизмов (кишечной палочки и энтерококка) подавляется. Однако, создание щелочной среды оказывает существенного влияния и приводит к гибели яиц гельминтов в процессе повышения их температуры. В процессе гашения 1 моля (56 г) окиси кальция, содержащейся в извести, выделяется 62-65 кДж тепла [50]. Процесс гашения протекает по уравнению (1)



При гашении 1 кг СаО выделяется соответственно 1152 кДж тепла, для которого расходуется 320 мл (~0,32 кг) воды. Данный расчет является ориентировочным, т.к. расход извести существенно зависит от влажности и объемов, обрабатываемых ОСВ.

При прохождении реакции происходит образование гидроокиси кальция и выделение тепла. В результате происходит дезинфекция за счет высокотемпературной обработки осадка и частичный переход гидроокисей металлов из коллоидного состояния в нерастворимые оксиды (2).



Таким образом образующийся продукт, исходя из состава входящих в него компонентов, может быть отнесен к органоминеральной добавке для нейтрализации кислых почв.

Таким образом, по данным из таблицы 10 элементный состав шлама водоподготовки КТЭЦ-1 (после потери при прокаливании) в абсолютно-сухой навеске содержит 43,88% оксида кальция (СаО).

Из вышеизложенного следует, что при частичном замещении оксида кальция (СаО) карбонатным шламом ожидается следующие результаты:

1. Экологически безопасная технология обработки осадков сточных вод с применением негашеной извести и карбонатного шлама;
2. Снижение платы за негативное воздействие на окружающую среду в следствии снижения массы размещаемого карбонатного шлама на территории предприятий ТЭК;
3. Снизить затраты на обработку в связи с использованием карбонатного шлама и тем самым, уменьшить количество (массу) используемых компонентов для стабилизации ОСВ без существенного снижения эффективности обработки.

Проанализировав потенциальные методы обработки осадков сточных вод установлено что, учитывая значительные объемы накопленных осадков, предложен способ их рекультивации непосредственно на иловых картах

с использованием негашеной извести и цеолита. Эксперименты показали, что внесение оксида кальция и активированного цеолита в количестве 2,5–5,0 % и 20–30 % массы сырого осадка соответственно останавливает процессы брожения, обеспечивает обеззараживание, обезвоживание и структурирование осадков, способствует иммобилизации тяжелых металлов [7]. В цифровом обозначении максимальные затраты компонентов составят на 1 тонну сырого осадка – 50 кг оксида кальция и 300 кг цеолита.

Заключение

Использование такого типа технологического процесса позволяет снизить количество используемого оксида кальция (CaO) и заместить его оксидом кальция из карбонатного шлама. Использование карбонатного шлама в качестве стабилизатора осадка из-за содержания оксида кальция (CaO) подтверждается лабораторными исследованиями. За счет этих данных обеспечивается утилизация отходов химводоподготовки, достигается меньшее загрязнение объектов окружающей среды.

Факторами, затрудняющими утилизацию, являются физические и химические свойства осадков, наличие условно патогенных и иных опасных живых организмов, что требует поиска экономически и экологически целесообразных технологических решений, обеспечивающих приближению их структуры и свойств к требованиям нормативных документов, определяющих возможность вторичного использования.

Экономическая эффективность данного типа обработки ОСВ складывается из двух основных показателей:

- прибыль за реализации готового продукта (почвогрунта);
- экономия на снижении платы по тарифу за сбор, транспортирование и утилизацию отходов IV класса опасности (ил от коммунальных очистных сооружений).

Литература

1. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskiy-obzor-nakoplenno-go-v-rossiyskoy-federatsii-opyta-vovlecheniya-v-hozyaystvennyy-оборот-zoloshlakovyh-othodov> (дата обращения: 01.08.2022).
2. Заседание Правительства // Правительство Российской Федерации. – URL: <http://government.ru/news/39341/> (дата обращения: 01.08.2022).
3. Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года // Минэнерго России. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 01.08.2022).
4. Зверева Э.Р. Утилизация карбонатного шлама систем химводоочистки тепловых электростанций // Вестник КГЭУ. 2011. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-karbonatnogo-shlama-sistem-himvodoochistki-teplovyyh-elektrostantsiy> (дата обращения: 01.08.2022).
5. Каклюгин А.В., Боброва В.В., Валов М.П., Щербакова В.С. Использование шлама химводоочистки теплоэлектростанций в производстве строительных материалов и изделий // Молодой исследователь Дона. 2020. №4 (25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-shlama-himvodoochistki-teploelektrostantsiy-v-proizvodstve-stroitelnyh-materialov-i-izdeliy> (дата обращения: 01.08.2022).
6. Богданов А.Н., Абдрахманова Л.А., Гордеев А.С. Оценка эффективности карбонатсодержащей добавки в глинистое сырье для создания лицевого керамики // Известия КазГАСУ. 2013. №2 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-karbonatsoderzhashey-dobavki-v-glinistoe-syrie-dlya-sozdaniya-litsevoy-keramiki> (дата обращения: 01.08.2022).
7. Бариева Э.Р., Королев Э.А. Использование шламовых отходов теплоэнергетических предприятий в производстве керамического кирпича // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2009. №5-6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-shlamovyh-othodov-teploenergeticheskikh-predpriyatiy-v-proizvodstve-keramicheskogo-kirpicha> (дата обращения: 01.08.2022).
8. Медяник Ю. В. Исследование свойств смешанных цементов с наполнителем из шламовых отходов теплоэлектростанций // Известия КазГАСУ. 2015. №2 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svoystv-smeshannyh-tsementov-s-napolnitelem-iz-shlamovyh-othodov-teploelektrostantsiy> (дата обращения: 01.08.2022).
9. Трищенко И. В., Каклюгин А. В., Чижова Я. С. Преимущества производства и применения гипсополистиролбетонных стеновых камней // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. №2 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimushchestva-proizvodstva-i-primeneniya-gipsopolistirolbetonnyh-stenovyh-kamney> (дата обращения: 01.08.2022).
10. Старостина И.В., Ефремов Р.О., Порожнюк Е.В., Старостина Ю.Л., Шайхиев И.Г. Использование кремнеземсодержащих промышленных отходов в технологии

композиционных гипсовых вяжущих // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kremnezemsoderzhaschih-promyshlennyh-othodov-v-tehnologii-kompozitsionnyh-gipsovyh-vyazhushchih> (дата обращения: 01.08.2022).

11. Макаров Д.В., Мелконян Р.Г., Суворова О.В., Кумарова В.А. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов // ГИАБ. 2016. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-promyshlennyh-othodov-dlya-polucheniya-keramicheskikh-stroitelnyh-materialov> (дата обращения: 01.08.2022).

12. Абдрахманов В.З. Рециклинг отходов топливно-энергетического комплекса в производстве легковесного кирпича на основе глинистых материалов различного минерального состава // Экология промышленного производства. 2020. №1 (109). URL: http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=158 &ELEMENT_ID=25117 (дата обращения: 01.08.2022).

13. Медяник Ю.В. Свойства штукатурных растворов с добавкой-наполнителем из шламовых отходов теплоэлектростанций // Известия КазГАСУ. 2016. №4 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-shtukaturnyh-rastvorov-s-dobavkoy-napolnitelem-iz-shlamovyh-othodov-teploelektrostantsiy> (дата обращения: 01.08.2022).

14. Овчинников Р.В. Модифицированные шлаки ТЭС как эффективный компонент смешанных вяжущих // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. №2 (171). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modifitsirovannye-shlaki-tes-kak-effektivnyy-komponent-smeshannyh-vyazhushchih> (дата обращения: 08.08.2022).

15. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Бетоны на основе бесклинкерных композиционных гипсовых вяжущих повышенной водостойкости с применением промышленных отходов // Известия КазГАСУ. 2014. №1 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/betony-na-osnove-besklinkernyh-kompozitsionnyh-gipsovyh-vyazhushchih-povyshennoy-vodostoykosti-s-primeneniem-promyshlennyh-othodov> (дата обращения: 01.12.2021).

16. Валеев Р.Ш., Шайхиев И.Г. Способ применения шламовых отходов водоподготовки в строительных материалах с использованием суперпластификатора кМК-ок // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-primeneniya-shlamovyh-othodov-vodopodgotovki-v-stroitelnyh-materialah-s-ispolzovaniem-superplastifikatora-kmk-ok> (дата обращения: 08.08.2022).

17. Зверева Э.Р., Зуева О.С., Хабибуллина Р.В., Хатмуллина З.Ф., Дремичева Е.С. Повышение показателей качества котельного топлива при использовании присадок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. №1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-pokazateley-kachestva-kotelnogo-topliva-pri-ispolzovanii-prisadok> (дата обращения: 08.08.2022).

18. Мутугуллина И. А., Зверева Э. Р., Зиннатуллина Р. В., Фатхиева З. Ф. Изучения влияния присадок на эксплуатационные свойства топочных мазутов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izucheniya-vliyaniya-prisadok-na-ekspluatatsionnye-svoystva-topochnyh-mazutov> (дата обращения: 08.08.2022).

19. Зверева Э.Р., Плотникова В.П., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Комплексный метод утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций // Вестник КГЭУ. 2019. №2 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-metod-utilizatsii-zoloshlakovyh-othodov-teplovyyh-elektrostantsiy> (дата обращения: 08.08.2022).

20. Науменко А.В., Ковшик И.Г. Влияние известкования на содержание макроэлементов на фоне длительного применения удобрений // Дальневосточный аграрный вестник. 2009. №1 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-izvestkovaniya-na-soderzhanie-makroelementov-na-fone-dlitelnogo-primeneniya-udobreniy> (дата обращения: 08.08.2022).

21. Вялкова Е.И. Исследование природных минералов и отходов производства Тюменской области и Уральского региона с целью очистки воды и грунтов. 05.23.04. Тюмень, 1999. 16 с.

22. Jambhulkar H.P., Shaikh S. M.S., Kumar M.S. Fly ash toxicity, emerging issues and possible implications for its exploitation in agriculture; Indian scenario: A review // Chemosphere. 2018. Vol. 213. P. 333–344. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.045 83.

23. Basu M., Pande M., Bhadoria P. B. S., Mahapatra S. C. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review // Progress in Natural Science. 2009. Vol. 19. P. 1173–1186. DOI: 10.1016/j.pnsc.2008.12.006.

24. Гребенщикова Е.А., Юст Н.А., Пыхтеева М.А. Влияние химической мелиорации путем внесения золошлаковых отходов на физико-химические свойства почвы // Вестник КрасГАУ. 2016. № 6. С. 3–8.

25. Николаева Л. А., Хуснутдинов А. Н. Адсорбционная очистка газовых выбросов от сероводорода гранулированным карбонатным шламом // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2019. № 3 (73). С. 37-47.

26. Хуснутдинова Э.М. Очистка газовых выбросов промышленных предприятий карбонатным шламом // Теплоэнергетика. Пятнадцатая всероссийская (седьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: материалы конференции. В 6-ти томах. 2020. С. 51.

27. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В. Снижение выбросов вредных веществ при сжигании мазута на ТЭЦ // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. материалы Международной научно-практической конференции. Альметьевский государственный нефтяной институт. 2018. С. 93-95.

28. Николаева Л.А., Котляр М.Н. Очистка сточных вод гальванических цехов от ионов меди модифицированным карбонатным шламом // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 5. С. 124-132

29. Николаева Л.А., Исакова Р.Я. Очистка оборотных и сточных вод ТЭС от нефтепродуктов модифицированным шламом водоподготовки // Теплоэнергетика. - 2017. - № 6. - С. 72-78.

30. Николаева Л.А., Айкенова Н.Е. Адсорбционная очистка промышленных сточных вод от фенолов модифицированным карбонатным шламом // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнологии. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. 2020. С. 123-126.

31. Николаева Л.А., Зайнуллина Э.Р. Адсорбционная осушка природного газа карбонатным шламом // В сборнике: Актуальные вопросы охраны окружающей среды. Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции. 2018. С. 34-40.

32. Патент № 2435347 Рос. Федерация, МПК A01B 79/00. Способ рекультивации нарушенных земель / Данич Д.С., Сенатская Е.В. – № 2008140026/05; заявл. 08.10.2008; опубл. 20.04.2010, Бюл. № 34.

33. Патент № 2479721 Рос. Федерация, МПК E 21 C 41/32. Способ рекультивации карьеров с использованием промышленных отходов / Пендюрин Е.А., Старостина И.В., Дрожжин С.П. – № 2011142936/03; заявл. 24.10.2011; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11.

34. Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления «Сведения об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления по форме 2-ТП (отходы) за 2021 год, систематизированные по видам отходов ФККО» URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 26.08.2022).

35. Порядок проведения собственниками объектов размещения отходов, а также лицами, во владении или в пользовании которых находятся объекты размещения отходов, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/573219713> (дата обращения: 26.08.2022).

36. Отчет о результатах мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территории шламоотстойника филиала АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-1 за 2018-2021 гг. [Электронный ресурс] URL: <http://www.tatenergo.ru/about/environmental/rezultaty-monitoringa-obektov-razmeshcheniya-otkhodov/>.

37. Николаева Л.А., Бородай Е.Н. // Ресурсосберегающая технология утилизации шлама водоподготовки на ТЭС. Монография. – Казань.: КГЭУ, 2012. 110 с. (дата обращения: 02.12.2021).

38. Исакова Р.Я. Очистка сточных вод Кармановской ГРЭС с использованием отхода теплоэнергетики // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования. Всероссийская научная конференция. 2019. С. 55-60. URL: https://lib.kgeu.ru/irbis64r_15/scan-new/5098.pdf (дата обращения: 09.09.2022).

39. Николаева Л.А., Голубчиков М.А., Захарова С. В Изучение сорбционных свойств шлама осветлителей при очистке сточных вод ТЭС от нефтепродуктов // Известия вузов.

Проблемы энергетики. 2012. №9-10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-sorbtsionnyh-svoystv-shlama-osvetlitley-pri-ochistke-stochnyh-vod-tes-ot-nefteproduktov> (дата обращения: 07.11.2022).

40. Nikolaeva L.A., Golubchikov M. & Minneyarova, A. R. (2018). Research on the Mechanism and Kinetics of Oil-Product Adsorption from Industrial Wastewater by a Modified Hydrophobic Carbonate Sludge. Chemical and Petroleum Engineering, 53, 806-813 URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Research-on-the-Mechanism-and-Kinetics-of-from-by-a-Nikolaeva-Golubchikov/f8add8827dcd5da3a7cdbbf61e17e5d4b7cbf65b> (дата обращения: 09.09.2022).

41. Коровкин М. О. Исследование возможности использования карбонатного шлама в технологии сухих шпаклевочных смесей / М. О. Коровкин, Н. А. Ерошкина, А. М. Горячев. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. 2015. № 5 (85). С. 163-165. URL: <https://moluch.ru/archive/85/16021/> (дата обращения: 09.09.2022).

42. Kuzmina T.I. Problems of complex recycling of ash and slag waste // МНИЖ. 2015. №10-1 (41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problems-of-complex-recycling-of-ash-and-slag-waste> (дата обращения: 09.09.2022).

43. Протокол испытаний 199-ТИ-22 от 17.06.2022, протокол испытаний 199-Х-22 от 28.06.2022, протокол испытаний 199-Ф-22 от 27.06.2022 ЛК «НаноАналитика» ФГБОУ ВО «КНИТУ».

44. Валиев В. С., Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р. Способы утилизации осадков городских сточных вод (обзор) // Российский журнал прикладной экологии. 2020. №4 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-utilizatsii-osadkov-gorodskih-stochnyh-vod-obzor> (дата обращения: 09.09.2022).

45. Обработка осадка городских сточных вод в крупнейших городах Европы АО "Промэнерго" URL: <https://promenergo.spb.ru/info/obrabotka.php> (дата обращения: 09.09.2022).

46. Валиев В.С., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р. Анализ мирового опыта утилизации осадка городских сточных вод // Российский журнал прикладной экологии. 2020. №4 (24). [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mirovogo-opyta-utilizatsii-osadka-gorodskih-stochnyh-vod> (дата обращения: 02.10.2022).

47. Gale R.S. Recent Research on Sludge Dewatering. Filtr.Separ. (September-October), 1971.

48. Corrie K.D. Use of activated carbon in the treatment of heat – treatment plant liquor. Water pollution control (U.K.), 1972.

49. Stack V.T., Jr. Marks. Pressure cooking of activated sludge. Roy F. Weston inc.

50. ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» URL:<https://docs.cntd.ru/document/564068889> (дата обращения: 09.12.2021).

51. Шагидуллин Р., Петров А., Иванов Д. Подходы к рекультивации иловых карт биологических очистных сооружений города Казани. Экология и промышленность России. 2021;25(3):18-23. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-3-18-23>.

Авторы публикации

Королев Владислав Игоревич – аспирант, Казанский государственный энергетический университет.

Зверева Эльвира Рафиковна – д-р техн. наук, профессор кафедры «Инженерная экология и безопасность труда», Казанский государственный университет.

References

1. Pichugin EA. Analytical review of the experience accumulated in the Russian Federation of involving ash and slag waste from thermal power plants in economic turnover. *Problems of regional ecology*. 2019. No.4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskiy-obzor-nakoplennoy-v-rossiyskoy-federatsii-opyta-vovlecheniya-v-hozyaystvennyy-oborot-zoloshlakovyh-othodov> (date of appeal: 01.08.2022).

2. Government meeting. *The Government of the Russian Federation*. URL: <http://government.ru/news/39341/> (accessed: 01.08.2022).

3. *On the approval of the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035*. Ministry of Energy of Russia. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (date of reference: 01.08.2022).

4. Zvereva ER. Utilization of carbonate sludge of chemical water treatment systems of thermal power plants. *Vestnik KGEU*. 2011;4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-karbonatnogo-shlama-sistem-himvodoochistki-teplovyyh-elektrostantsiy> (accessed: 01.08.2022).
5. Kaklyugin AV, Bobrova VV, Valov MP, et al. The use of chemical water treatment sludge of thermal power plants in the production of building materials and products. *Young researcher of the Don*. 2020;4(25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-shlama-himvodoochistki-teploelektrostantsiy-v-proizvodstve-stroitelnykh-materialov-i-izdeliy> (accessed: 01.08.2022).
6. Bogdanov AN, Abdrakhmanova LA, Gordeev AS. Evaluation of the effectiveness of a carbonate-containing additive in clay raw materials for the creation of facial ceramics. *Izvestiya KazGASU*. 2013;2 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-karbonatsoderzhashey-dobavki-v-glinistoe-syrie-dlya-sozdaniya-litsevoy-keramiki> (accessed: 01.08.2022).
7. Barieva ER, Korolev EA. The use of sludge waste from thermal power plants in the production of ceramic bricks. *Izvestiya vuzov. Energy problems*. 2009;5-6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-shlamovykh-othodov-teploenergeticheskikh-predpriyatiy-v-proizvodstve-keramicheskogo-kirpicha> (accessed: 01.08.2022).
8. Medyanik YuV. Investigation of properties of mixed cements with filler from sludge waste of thermal power plant. *Izvestia KazGASU*. 2015. No.2 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svoystv-smeshannykh-tsementov-s-napolnitelem-iz-shlamovykh-othodov-teploelektrostantsiy> (accessed: 01.08.2022).
9. Trishchenko IV, Kaklyugin AV, Chizhova YaS. Advantages of production and application of gypsum polystyrene concrete wall stones. *News of universities. Investment. Construction. Realty*. 2017;2 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimushchestva-proizvodstva-i-primeneniya-gipsopolistirolnykh-stenovykh-kamney> (accessed: 01.08.2022).
10. Starostina IV, Efremov RO, Porozhnyuk EV, et al. The use of silica-containing industrial waste in the technology of composite gypsum binders. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2016. No.13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kremnezemsoderzhashchikh-promyshlennykh-othodov-v-tehnologii-kompozitsionnykh-gipsovykh-vyazhushchikh> (accessed: 01.08.2022).
11. Makarov DV, Melkonyan RG, Suvorova OV., Kumarova V. A. *Prospects of using industrial waste to produce ceramic building materials*. GIAB. 2016. No. 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-promyshlennykh-othodov-dlya-polucheniya-keramicheskikh-stroitelnykh-materialov> (accessed: 01.08.2022).
12. Abdrakhmanov VZ. Recycling of fuel and energy complex waste in the production of lightweight bricks based on clay materials of various mineral composition. *Ecology of industrial production*. 2020;1 (109). URL: http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=158&ELEMENT_ID=25117 (accessed 01.08.2022).
13. Medyanik YuV. Properties of plaster solutions with filler additive from slurry waste of thermal power plants. *Izvestia KazGASU*. 2016;4 (38). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svoystva-shtukaturnykh-rastvorov-s-dobavkoy-napolnitelem-iz-shlamovykh-othodov-teploelektrostantsiy> (accessed: 01.08.2022).
14. Ovchinnikov RV. Modified slags of thermal power plants as an effective component of mixed binders. *Izvestiya vuzov. The North Caucasus region*. Series: Technical Sciences. 2013;2 (171). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modifitsirovannye-shlaki-tes-kak-effektivnyy-komponent-smeshannykh-vyazhushchikh> (accessed: 08.08.2022).
15. Khaliullin MI, Rakhimov RZ, Gayfullin AR. Concretes based on linkerless composite gypsum binders of increased water resistance with the use of industrial waste. *Izvestiya KazGASU*. 2014;1 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/betony-na-osnove-besklinsknykh-kompozitsionnykh-gipsovykh-vyazhushchikh-povyshennoy-vodostoykosti-s-primeneniem-promyshlennykh-othodov> (accessed: 01.12.2021).
16. Valeev RSh, Shaikhiev IG. Method of application of sludge waste of water treatment in building materials using superplasticizer kmk-ok. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2012;12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-primeneniya-shlamovykh-othodov-vodopodgotovki-v-stroitelnykh-materialakh-s-ispolzovaniem-superplastifikatora-kmk-ok> (accessed: 08.08.2022).
17. Zvereva ER, Zueva OS, Khabibullina RV, et al. Improving the quality of boiler fuel when using additives. *Izvestiya vuzov. Energy problems*. 2016. No.1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-pokazateley-kachestva-kotelnogo-topliva-pri-ispolzovanii-prisadok> (accessed: 08.08.2022).
18. Mutugullina IA, Zvereva ER, Zinnatullina RV, et al. Studies of the effect of additives on the operational properties of heating oil. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2012.

- No.18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izucheniya-vliyaniya-prisadok-na-ekspluatatsionnye-svoystva-topochnyh-mazutov> (accessed: 08.08.2022).
19. Zvereva ER, Plotnikova VP, Burganova FI, Zverev LO. Complex method of utilization of ash and slag waste of thermal power plants. *Vestnik KSEU*. 2019. No.2 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnyy-metod-utilizatsii-zoloshlakovyh-othodov-teplovyyh-elektrostantsiy> (accessed: 08.08.2022).
20. Naumenko AV, Kovshik IG. The effect of liming on the content of macronutrients against the background of long-term use of fertilizers. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2009;1 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-izvestkovaniya-na-soderzhanie-makroelementov-na-fone-dlitelnogo-primeneniya-udobreniy> (date of reference: 08.08.2022).
21. Vyalkova EI. *Research of natural minerals and waste products of the Tyumen region and the Ural region for the purpose of water and soil purification: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences*: 05.23.04. Tyumen, 1999. 16 p.
22. Jambhulkar HP, Shaikh SMS, Kumar MS. Fly ash toxicity, emerging issues and possible implications for its exploitation in agriculture; Indian scenario: A review. *Chemosphere*. 2018;213:333–344. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.09.045 83.
23. Basu M., Pande M., Bhadoria P. B. S., Mahapatra S. C. *Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review*. Progress in Natural Science. 2009;19:1173–1186. doi: 10.1016/j.pnsc.2008.12.006.
24. Grebenshchikova EA, Yust NA, Pykhteeva MA. The effect of chemical reclamation by introducing ash and slag waste on the physico-chemical properties of the soil. *Bulletin of KrasGAU*. 2016;6. :3-8.
25. Nikolaeva LA, Khusnutdinov AN. Adsorption purification of gas emissions from hydrogen sulfide by granular carbonate sludge. *Issues of modern science and practice*. V.I. Vernadsky University. 2019;3 (73):37-47.
26. Khusnutdinova EM. Purification of gas emissions of industrial enterprises with carbonate sludge. *Thermal power engineering*. The fifteenth All-Russian (seventh international) scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists: conference materials. In 6 volumes. 2020. p. 51.
27. Zinurov VE, Dmitriev AV. Reduction of emissions of harmful substances during the combustion of fuel oil at the CHP. *Achievements, problems and prospects of development of the oil and gas industry*. materials of the International Scientific and Practical Conference. Almet'yevsk State Oil Institute. 2018. pp. 93-95.
28. Nikolaeva LA, Kotlyar MN. Wastewater treatment of galvanic workshops from copper ions with modified carbonate sludge. *Water management of Russia: problems, technologies, management*. 2019;5:124-132
29. Nikolaeva LA, Iskhakova RYa. Purification of circulating and waste waters of thermal power plants from petroleum products with modified sludge of water treatment. *Thermal power engineering*. 2017;6:72-78.
30. Nikolaeva LA, Aikenova NE. Adsorption treatment of industrial wastewater from phenols with modified carbonate sludge. *Rational use of natural resources and processing of technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry and biotechnology*. Collection of reports of the International Scientific and Technical Conference. 2020. pp. 123-126.
31. Nikolaeva LA, Zainullina ER. *Adsorption drying of natural gas with carbonate sludge*. In the collection: Topical issues of environmental protection. Collection of reports of the All-Russian Scientific and Technical Conference. 2018. pp. 34-40.
32. Patent No. 2435347 Grew. Federation, IPC A01B 79/00. Method of recultivation of disturbed lands / Danich DS, Senatskaya EV. No. 2008140026/05; application 08.10.2008; publ. 20.04.2010, Bul. No. 34.
33. Patent No. 2479721 Grew. Federation, IPC E 21 With 41/32. *Method of recultivation of quarries using industrial waste* / Pendyurin E.A., Starostina I.V., Drozhzhin S.P. – No. 2011142936/03; application 24.10.2011; publ. 20.04.2013, Bul. No. 11.
34. *Information on the formation, processing, disposal, neutralization, disposal of production and consumption waste «Information on the formation, processing, disposal, neutralization, disposal of production and consumption waste in the form of 2-TP (waste) for 2021, systematized by types of waste FCKO»* URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (accessed: 08/26/2022).
35. *The procedure for the owners of waste disposal facilities, as well as persons in possession or use of which the waste disposal facilities are located, monitoring the state and pollution of the environment on the territories of waste disposal facilities and within their impact on the environment*. [Electronic resource] URL: <https://docs.cntd.ru/document/573219713> (accessed: 08/26/2022).

36. *Report on the results of monitoring the state and pollution of the environment on the territory of the sludge sump of the branch of JSC Tatenergo Kazanskaya CHPP-1 for 2018-2021.* [Electronic resource] URL: <http://www.tatenergo.ru/about/environmental/rezultaty-monitoringa-obektov-razmeshcheniya-otkhodov/>.
37. Nikolaeva LA, Borodai EN. *Resource-saving technology of water treatment sludge utilization at thermal power plants.* Monograph. Kazan.: KSEU, 2012. 110 p. (accessed: 02.12.2021).
38. Iskhakova RYa. Wastewater treatment of Karmanovskaya GRES using waste heat power engineering. *Safety, protection and protection of the environment: fundamental and applied research. All-Russian Scientific Conference.* 2019. pp. 55-60. URL: https://lib.kgeu.ru/irbis64r_15/scan-new/5098.pdf (date of application: 09.09.2022).
39. Nikolaeva LA, Golubchikov MA, Zakharova SV. The study of sorption properties of clarifier sludge during wastewater treatment of thermal power plants from petroleum products. *Izvestiya vuzov. Energy problems.* 2012. No.9-10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-sorbtsionnyh-svoystv-shlama-osvetlителей-pri-ochistke-stochnyh-vod-tes-ot-nefteproduktov> (accessed: 07.11.2022).
40. Nikolaeva LA, Golubchikov M, & Minneyarova AR. (2018). *Research on the Mechanism and Kinetics of Oil-Product Adsorption from Industrial Wastewater by a Modified Hydrophobic Carbonate Sludge.* Chemical and Petroleum Engineering, 53, 806-813 URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Research-on-the-Mechanism-and-Kinetics-of-from-by-a-Nikolaeva-Golubchikov/f8add8827dcd5da3a7cddb61e17e5d4b7cbf65b> (accessed: 09.09.2022).
41. Korovkin M O, Eroshkina NA, Goryachev AM. Investigation of the possibility of using carbonate sludge in the technology of dry putty mixtures. Text : direct. *Young scientist.* 2015;5 (85):163-165. URL: <https://moluch.ru/archive/85/16021/> (accessed: 09.09.2022).
42. Kuzmina TI. *Problems of complex recycling of ash and slag waste.* MNIZH. 2015. No.10-1 (41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problems-of-complex-recycling-of-ash-and-slag-waste> (accessed: 09.09.2022).
43. Test report 199-TI-22 dated 06/17/2022, test report 199-X-22 dated 06/28/2022, test report 199-F-22 dated 06/27/2022 LC «NanoAnalytics» FGBOU VO «KNITU».
44. Valiev VS, Ivanov DV, Shagidullin RR. Methods of utilization of municipal sewage sludge (review). *Russian Journal of Applied Ecology.* 2020;4 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-utilizatsii-osadkov-gorodskih-stochnyh-vod-obzor> (accessed: 09.09.2022).
45. *Treatment of municipal sewage sludge in the largest cities of Europe of JSC «Promenergo»* URL: <https://promenergo.spb.ru/info/obrabotka.php> (date of reference: 09.09.2022).
46. Valiev VS, Ivanov DV, Shagidullin RR. Analysis of the world experience of urban wastewater sludge utilization. *Russian Journal of Applied Ecology.* 2020;4(24). [Electronic resource] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mirovogo-opyta-utilizatsii-osadka-gorodskih-stochnyh-vod> (accessed: 02.10.2022).
47. Gale RS. Recent Research on Sludge Dewatering. *Filtr.Separ.* (September-October), 1971.
48. Corrie KD. *Use of activated carbon in the treatment of heat – treatment plant liquor.* Water pollution control (U.K.), 1972.
49. Stack VT., Jr. Marks. *Pressure cooking of activated sludge.* Roy F. Weston inc.
50. ITS 10-2019 *Wastewater treatment using centralized wastewater disposal systems of settlements, urban districts* URL: <https://docs.cntd.ru/document/564068889> (accessed: 09.12.2021).
51. Shagidullin R, Petrov A, Ivanov D. Approaches to the recultivation of sludge maps of biological treatment facilities of the city of Kazan. *Ecology and industry of Russia.* 2021;25(3):18-23. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-3-18-23>.

Authors of the publication

Vladislav I. Korolev – Kazan State Power Engineering University.

Elvira R. Zvereva – Kazan State Power Engineering University.

Получено

21.11.2022г.

Отредактировано

28.11.2022г.

Принято

29.11.2022г.