



УДК 628.386

DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-4-628-636

К вопросу обезвреживания и утилизации илового осадка очистных сооружений молочного производства

¹Боровлев А.Э.,^{1,2} Кайдалова А.С., ¹ Киреева-Гененко И.А.

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

²ООО «ЭКОЛОГ-ПРОЕКТ»,

Россия, 308027, г. Белгород, ул. Пирогова, 36

E-mail: borovlev@bsuedu.ru, me@kaidalova.ru, genenko@bsuedu.ru

Аннотация. В настоящее время в молочной промышленности проблемным вопросом является обезвреживание и утилизация таких многотоннажных отходов, как иловый осадок очистных сооружений молокозаводов, характеризующихся высокой влажностью (около 95 %). Это обусловлено тем, что специализированные полигоны, согласно действующим санитарным правилам, могут принимать только осадок с влажностью менее 85 %. Длительное нахождение осадка на иловых картах приводит к его загниванию с выделением зловонного запаха, что обуславливает актуальность проведения исследований с целью обоснования оптимальной технологии обезвреживания илового осадка очистных сооружений молочного производства. Для достижения поставленной цели нами проведено исследование обезвреживания иловых осадков очистных сооружений молочного комбината с использованием автономного замкнутого деструктора низкого давления ДНД-350 производства ЗАО «СДМ-Орел». Эксперименты показали, что процесс парогазовой деструкции протекает с высокой эффективностью (уменьшение массы иловых осадков – более чем на 75 %). Выполненные оценки и ориентировочные расчеты позволяют заключить, что в проектировании и технологической схеме функционирования деструктора были применены все возможные меры, направленные на снижение негативного влияния на окружающую среду и соответствие современным стандартам экологической безопасности и охраны природы.

Ключевые слова: деструктор, иловый осадок очистных сооружений, отходы, термическое обезвреживание, экологически безопасный способ утилизации

Для цитирования: Боровлев А.Э., Кайдалова А.С., Киреева-Гененко И.А. 2024. К вопросу обезвреживания и утилизации илового осадка очистных сооружений молочного производства. Региональные геосистемы, 48(4): 628–636. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-4-628-636

To the Issue of Neutralization and Disposal of Sludge from Dairy Wastewater Treatment Plants

¹Andrey E. Borovlev, ^{1,2}Aleksandra S. Kaidalova, ¹Irina A. Kireeva-Genenko

¹Belgorod State National Research University, Russia,

85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia

²ECOLOG-PROJECT LLC, Russia,

36 Pirogov St, Belgorod 308027, Russia

E-mail: borovlev@bsuedu.ru, me@kaidalova.ru, genenko@bsuedu.ru

Abstract. Currently, a problematic issue in the dairy industry is the neutralization and disposal of sludge from dairy wastewater treatment facilities, a multi-tonnage waste with a high moisture content (about 95 %). This is due to the fact that according to current sanitary rules, specialized landfills can only accept sediment with moisture less than 85 %. A prolonged presence of sediment on sludge sites leads to its rotting with the



release of a fetid odor. It determines the relevance of conducting research to substantiate the optimal technology for neutralizing sludge. For these purposes, we studied the neutralization of sludge from the wastewater treatment facilities of a dairy plant using a DND-350 autonomous closed low-pressure destructor manufactured by SDM-Orel CJSC. Experiments revealed a high efficiency of combined-cycle gas destruction process, with a reduction in the mass of sludge deposits by over 75 %. The assessments and approximate calculations allow us to conclude that all possible measures aimed at reducing the negative impact on the environment and compliance with modern standards of environmental safety and nature protection were applied in the design and technological scheme of the destructor.

Keywords: destructor, sludge of wastewater treatment plants, waste, thermal neutralization, environmentally safe method of disposal

For citation: Borovlev A.E., Kaidalova A.S., Kireeva-Genenko I.A. 2024. To the Issue of Neutralization and Disposal of Sludge from Dairy Wastewater Treatment Plants. *Regional geosystems*, 48(4): 628–636. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-4-628-636

Введение

Молочная промышленность представляет собой сектор, в котором необходимо внедрение комплекса технических мероприятий для повышения экологической безопасности, направленных на поддержание баланса между биосферой и антропогенными воздействиями.

Молочные комбинаты, несмотря на то что они относятся к пищевой промышленности, играют большую роль в загрязнении окружающей среды. Так их очистные сооружения, используя эффективные технологии водоочистки, генерируют при этом отходы, которые сами по себе представляют угрозу еще большего загрязнения окружающей среды. Они образуются в результате смешения осадка биологических очистных сооружений и осадка механической очистки хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод. Осадок биологических очистных сооружений представляет собой сложную совокупность организованных организмов, неживой основы и связанных между собой метаболическими и трофическими процессами [Хенце и др, 2006].

В России осадки образуются в больших количествах (около 100 млн т. при начальной влажности до 98 %) и относятся к отходам IV класса опасности [Исхакова, Нургалиев, 2024].

Длительное нахождение осадка на иловых картах приводит к его загниванию с выделением зловонного запаха [Xia et al., 2022]. При этом процессе существенно снижается водоотдача осадка [Дремичева, 2021].

Проблема по обезвреживанию и утилизации илового осадка с исходной влажностью около 95 %, характерна для всех предприятий молочной промышленности, так как специализированные полигоны в соответствии с санитарными требованиями [СанПиН 1322-03, 2003] могут принимать только осадок с влажностью менее 85 %.

Цель данной работы – исследование и обоснование оптимальной технологии обезвреживания илового осадка очистных сооружений молочного производства с учетом экономических и геоэкологических аспектов проблемы утилизации многотоннажных отходов на предприятии.

Объекты и методы исследования

Анализ методов обработки иловых осадков основывался на комплексном подходе, включающем изучение как фондовых, так и опубликованных материалов, а также результаты экспериментальных исследований.

В настоящее время решение проблемы иловых осадков на предприятиях осуществляется преимущественно следующими методами:



- депонирование на иловых картах (складирование осадков на иловых картах для сушки в естественных условиях);
- компостирование иловых осадков;
- биологическая переработка илов очистных сооружений анаэробными микроорганизмами в метантенках;
- термическая обработка (технологическое сжигание или пиролиз илов) [Солодкова и др., 2012; Моран и др., 2017].

Депонирование на иловых картах и компостирование являются наиболее доступными способами утилизации иловых осадков. Однако складирование иловых осадков на картах для сушки в естественных условиях требует использования больших площадей, также это долгий по времени процесс (ил разлагается в течение 11–12 месяцев и более), что приводит к изменению фонового загрязнения атмосферного воздуха, распространению неприятных запахов, а также к бактериальному загрязнению почв [Воронов, Яковлев, 2006]. Таким образом, депонирование на иловых картах не является привлекательным ни экономически, ни экологически.

Компостирование – лучший способ добиться свойств, необходимых для выполнения требований, предъявляемых к осадку сточных вод при использовании его в качестве удобрения [ГОСТ 17.4.3.07-2001, 2001, Сюняев и др., 2005].

Иловый осадок полностью пригоден для компостирования и может использоваться в качестве удобрения (при наличии соответствующих сертификатов) [Зайнуллин, Галаутдинов, 2016].

Однако использование компостирования только для уменьшения объема осадка слишком дорого и неэффективно [Бегенджов, 2023]. Поэтому указанный метод является эффективным способом только при изготовлении из илового осадка полноценного удобрения. Серьезным недостатком рассматриваемого метода является сложность реализации процесса, особенно в холодное время года (с ноября по март).

Биологическая обработка осадка сточных вод анаэробными микроорганизмами в метантенках – это двухступенчатый процесс, в ходе которого органические примеси биохимически преобразуются в метан и углекислый газ [Латыпова, Севостьянова, 2015].

Для использования на предприятиях молочной промышленности указанный процесс имеет ряд сложностей, так как продуктом переработки ила является нативный биогаз и его использование в качестве топлива без предварительной очистки не представляется возможным так же, как и его сжигание в факеле [Кузнецов, Градова, 2006]. Наличие жиров в осадке обуславливает необходимость строительства метанреакторов значительных объемов, поскольку время их распада составляет от 20 до 30 суток. В связи с этим эффективность применения данного метода оказывается крайне низкой из-за высоких затрат на оборудование и эксплуатацию энергоносителей.

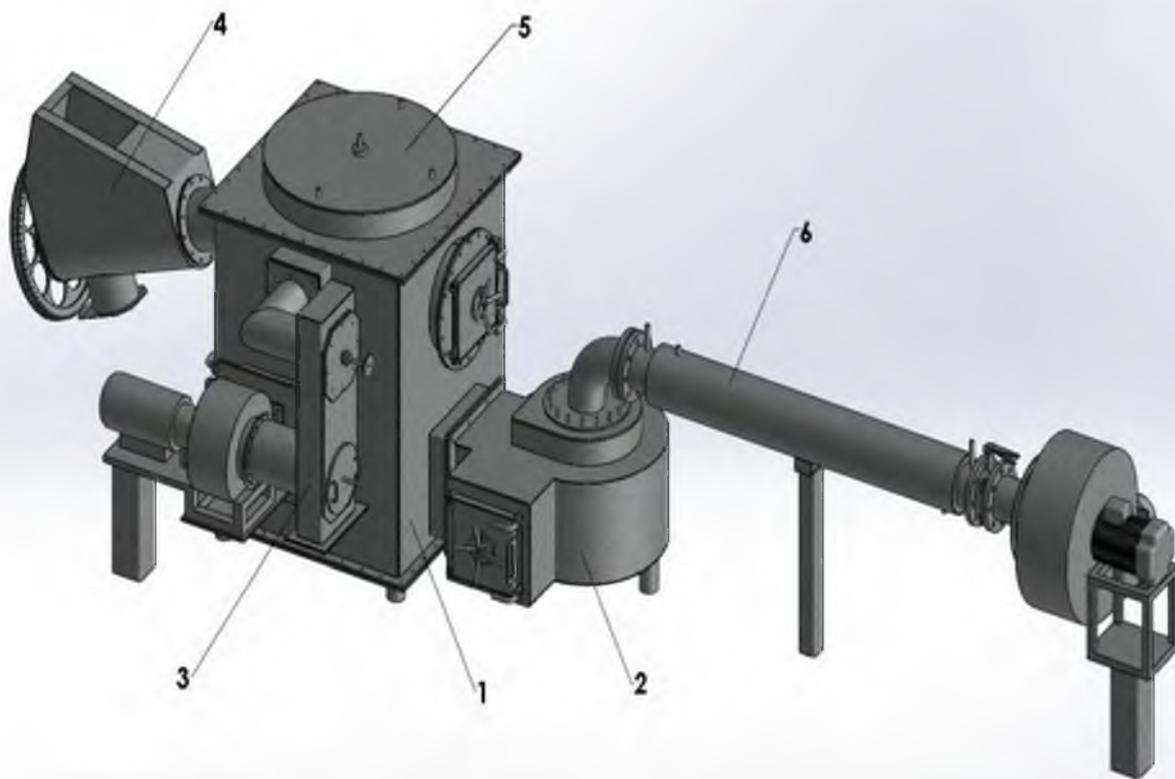
Термическая обработка является предпочтительной при переработке многотонного объема отходов. Основными преимуществами термической обработки осадка сточных вод являются уменьшение объема отходов (более чем на 70 %), значительное сокращение объема (более чем на 90 %) и возможность получения тепловой и электрической энергии, выделяемой при сжигании [Ручкинова, Зверева, 2020].

Таким образом, технологическое сжигание илов является наилучшим вариантом из всех проанализированных методов, так как значительно сокращает первоначальные объемы иловых осадков. В указанных целях нами рассмотрен один из перспективных способов утилизации иловых осадков очистных сооружений – метод парогазовой деструкции с противотоком, который вследствие своей низкзатратности и низкой чувствительности к составу топлива, может рассматриваться как один из возможных путей решения проблемы отходов [Моран и др., 2017].

Следует отметить, что до 2020 года в России исследований в части обезвреживания иловых осадков очистных сооружений на основе технологии парогазовой деструкции не

проводилось, и поэтому информация об указанной технологии не представлена в справочнике [ИТС-9-2020, 2020]. До настоящего времени работ по применению в России технологии парогазовой деструкции для обезвреживания илового осадка очистных сооружений молочного производства также не проводилось.

Исследование обезвреживания иловых осадков очистных сооружений молочного производства выполнено с использованием работы автономного замкнутого деструктора низкого давления ДНД-350 (далее – деструктор) производства ЗАО «СДМ-Орел» при сжигании осадков с иловых карт очистных сооружений молочного комбината г. Саранска на производственной площадке ООО «ЭКОЛОГ-ПРОЕКТ». Деструктор предназначен для предварительного разложения углеродосодержащего сырья большой влажности до 100 % на молекулярном уровне с последующим проведением термохимической конверсии, при которой выделяется тепловая энергия, и дальнейшей утилизацией этой тепловой энергии в топке водогрейного котла. Система вакуумирования обеспечивает постоянный вывод легких фракций парогазовой смеси и подачу ее в водогрейный теплообменник. Основные технологические узлы деструктора ДНД-350 представлены на рис. 1.



1 – реактор, 2 – камера дожига, 3 – система рециркуляции парогазовой смеси,
4 – загрузочная камера, 5 – сборник газов, 6 – система вакуумирования

Рис. 1. Основные технологические узлы деструктора ДНД-350
Fig. 1. The main technological nodes of the DND-350 destructor

Сырье, подлежащее обработке, подается в реактор сверху через загрузочную камеру. Воздух и пар подаются снизу. Продуктовый газ отводится в верхней части реактора, а зольный остаток выгружается в нижней части. Рабочая масса движется через реактор под собственным весом.



По высоте реактора расположено несколько характерных зон:

- сушки, где вновь поступившее сырье высушивается отфильтрованными продуктовыми газами при температуре 100–200 °С;
- термодеструкции (пиролиз и коксование органических веществ в бескислородной среде), где продуктовый газ обогащается летучими продуктами пиролиза [Bond et al., 2008];
- газификации, где коксовые остатки реагируют с кислородом, водяным паром и углекислым газом при температуре от 1000 до 1200 °С с образованием CO , CO_2 и H_2 . Тепло, выделяемое при сжигании, не отводится из реактора, а концентрируется в зоне газификации, что приводит к увеличению скорости химических реакций и позволяет проводить процесс с более высоким содержанием негорючих материалов (минералов) или влаги, что повышает химическую эффективность процесса;
- охлаждения, где твердый остаток окончательно охлаждается до температуры около 100 °С.

В качестве окислителя используется кислород, получаемый в процессе термической конверсии воды, содержащейся в отходах, воздействием разрядами статического электричества, накапливаемыми на внутренней поверхности загрузочной камеры.

Результаты и их обсуждение

При проведении эксперимента по сжиганию осадка с иловых карт очистных сооружений молочного комбината начальное содержание влаги в образцах составляло в среднем около 89 весовых процентов (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Физико-химические свойства илового осадка
Physical and chemical properties of sludge

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Осадок иловых карт
1.	Влажность объемная	масса, %	89
2.	Зольность (минеральная часть сухого вещества)	масса, %	60
3.	Химический состав минеральной части осадка	SiO_2	32,0
		Fe_2O_3	13,6
		Al_2O_3	9,3
		$S(SO_3)$	7,2
		Na_2O	6,9
		CaO	5,6
		K_2O	4,8
		Mg_2O	3,6
		NiO	0,005
		ZnO	0,003
	CuO	0,003	
	Cr_2O_3	0,003	
4.	Органическая часть сухого вещества	масса, %	40
5.	Элементный состав органической части осадка	C	4,7
		H	0,6
		S	0,1
		N	0,6
		O	2,0

В табл. 2 представлены условия и результаты экспериментов по обезвреживанию илового осадка влажностью (W) от 85 до 95 % с использованием реактора диаметром (d) 626 мм при удельном расходе воздуха (A) 640 м³/час.

Таблица 2
Table 2Условия и результаты экспериментов с иловым осадком
Conditions and results of experiments with a sludge sediment

N	Влажность материала, W , масс. %	Плотность загрузки, ρ , кг/м ³	Максимальная температура в зоне горения, T_{max} , °C	Теплота сгорания, Q , кДж/ м ³	Состав продукт-газа, об. %			
					CO ₂	CxHy	CO	H ₂
1	95	530	1170	3588	16,1	1,79	9,0	15,0
2	90	580	1160	3911	8,7	1,32	12,7	15,8
3	90	580	1010	3973	9,6	1,13	14,1	15,7
4	85	650	1070	4255	14,8	1,42	13,7	17,3
5	85	650	1070	3973	9,6	1,13	14,1	15,7

По результатам эксперимента образующийся твердый (зольный) остаток (шлак) составил около 25 % от общей массы иловых осадков. Состав шлака: SiO₂ – 53,5 %, Fe₂O₃ – 18,5 %, Al₂O₃ – 14,5 %, CaO – 8,5 %, Mg₂O – 4,98 %, NiO – 0,008 %, Cr₂O₃ – 0,004 %, CuO – 0,004 %, ZnO – 0,004 %. Согласно результатов расчетов по программе «Расчет класса опасности отходов» (версия 4.0), разработанной фирмой «ИНТЕГРАЛ» в соответствии с [Критерии отнесения отходов..., 2014], указанный шлак относится к IV классу опасности, что позволяет проводить его захоронение на полигонах.

Вид шлака после автономного замкнутого деструктора низкого давления представлен на рис. 2.

Рис. 2. Шлак после автономного замкнутого деструктора низкого давления
Fig. 2. Sludge after an autonomous closed low pressure destructor

Эксперименты продемонстрировали многообещающие результаты применения метода парогазовой деструкции для переработки илового осадка с влажностью от 85 до 95 %.



В процессе парогазовой деструкции основным источником выделения загрязняющих веществ (ЗВ) в окружающую среду является автономный замкнутый деструктор низкого давления. В атмосферный воздух посредством дымовой трубы деструктора будет выбрасываться 8 ЗВ, а именно: азота диоксид, аммиак, взвешенные вещества, сера диоксид, сероводород, углерод оксид, фенол, диоксины. Указанные ЗВ образуют согласно [СанПиН 1.2.3685-21, 2021] три группы суммации: 6003 (аммиак, сероводород), 6010 (азота диоксид, сера диоксид, углерод оксид, фенол), 6043 (сера диоксид и сероводород). Суммарный выброс указанных ЗВ при работе деструктора составит 0,268 г/с (8,3 т/г.).

По результатам расчетов рассеивания выбросов указанных ЗВ, выполненных в соответствии с [Методы расчетов рассеивания..., 2017] по унифицированной программе для ЭВМ – УПРЗА Эколог (версия 4.6), наибольшее значение расчетной максимальной приземной концентрации ЗВ наблюдается по группе суммации 6010 в 0,315 ПДК на расстоянии 45 м от источника выброса. Таким образом, на основании результатов проведенных расчетов рассеивания выбросов согласно [Методика разработки (расчета)..., 2020], выбросы ЗВ от деструктора могут быть приняты в качестве допустимых.

Заключение

Проведенные исследования процесса парогазовой деструкции иловых осадков очистных сооружений молочного комбината в автономном замкнутом деструкторе низкого давления ДНД-350 показали, что процесс деструкции протекает с высокой эффективностью (уменьшение массы иловых осадков – более чем на 75 %). Проведенные оценки и предварительные расчеты свидетельствуют о том, что в проектировании и технологической схеме функционирования деструктора были применены все возможные меры, направленные на снижение негативного влияния на окружающую среду и соответствие современным стандартам экологической безопасности и охраны природы.

Таким образом, рассмотренная технология парогазовой деструкции иловых осадков очистных сооружений молочного комбината является экологически безопасным способом обезвреживания и утилизации, что позволяет её использовать для разработки мероприятий по охране окружающей среды.

Список источников

- Воронов Ю.В., Яковлев С.В. 2006. Водоотведение и очистка сточных вод. М., Ассоциация строительных вузов, 704 с.
- ГОСТ Р 17.4.3.07–2001. 2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. Госстандарт России, Электронный ресурс. URL: <http://base.garant.ru/5369785> (дата обращения 02.09.2024).
- ИТС 9-2020. 2020. Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. М., Бюро НДТ, 200 с.
- Критерии отнесения отходов к I – V классу опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду: утв. приказом № 536 МПР России от 04.12.2014. Электронный ресурс. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71196500/> (дата обращения 02.09.2024).
- Кузнецов А.Е., Градова Н.Б. 2006. Научные основы экобиотехнологии. М., Мир, 504 с.
- Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. 2017. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074826?ysclid=loond8flh406440570> (дата обращения 02.09.2024).
- Методика разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. 2020. Электронный ресурс. URL: <https://base.garant.ru/400164922/?ysclid=m1e36wy5iz509000938> (дата обращения 02.09.2024).
- СанПин 1322-03. 2003. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. Электронный ресурс. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 05.09.2024).



- СанПиН 1.2.3685-21. 2021. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Электронный ресурс. URL: <https://base.garant.ru/406508041> (дата обращения 3.09.2024).
- Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен, И., Арван Э. 2006. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы. М., Мир, 480 с.

Список литературы

- Бегенджов Э.Ф. 2023. Детоксикация активного ила от тяжелых металлов и фосфатов. Тенденции развития науки и образования, 96: 135–138. <https://doi.org/10.1841/trmio-04-2023-547>
- Дремичева Е.С. 2021. Проблемы загрязнения водоемов нефтесодержащими сточными водами промышленных предприятий и варианты их решения. Химическая безопасность, 5(2): 66–77. <https://doi.org/10.25514/CHS.2021.2.20003>
- Зайнуллин Р.Р., Галаяудинов А.А. 2016. Производство удобрений из осадков сточных вод. Инновационная наука, 6–2: 77–79.
- Исхакова Р.Я., Нургалиев А.И. 2024. Обезвоживание и экологически безопасная термическая переработка избыточного активного ила. Безопасность техногенных и природных систем, 8(2): 26–36. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-2-26-36>
- Латыпова М., Севостьянова О. 2015. Исследование процессов биохимической очистки токсичных сточных вод. М., LAP Lambert Academic Publishing, 92 с.
- Моран Э., Плеханов А.В., Лобанов Ф.И. 2017. Термическая обработка – перспективное направление утилизации осадков сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника, 6: 47–51.
- Ручкина О.И., Зверева А.Н. 2020. Методы утилизации осадков городских очистных сооружений. Современные технологии в строительстве. Теория и практика, 1: 192–196.
- Солодкова А.Б., Собгайда Н.А., Шайхиев И.Г. 2012. Разработка технологии изготовления и использования адсорбента на основе отработанного активного ила для очистки сточных вод. Вестник Казанского технологического университета, 15(20): 179–182.
- Сюняев Х.Х., Сюняева О.И., Устюжанина О.А. 2005. Исследование эффективности применения осадков сточных вод в сфере АПК Калужской области. В кн.: Естествознание и гуманизм. Томск, СибГМУ, 2 (3): 41–42.
- Bond T., Tse Q., Chambon C.L., Fennell P., Fowler G.D., Krueger B.C., Templeton M.R. 2008. The Feasibility of Char and Bio-Oil Production from Pyrolysis of Pit La-Trine Sludge. Environmental Science: Water Research & Technology, 2: 253–264.
- Xia J., Rao T., Ji J., He B., Liu A., Sun Y. 2022. Enhanced Dewatering of Activated Sludge by Skeleton-Assisted Flocculation Process. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(11): 6540. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116540>

References

- Begenjov E.F. 2023. Detoxification of Activated Sludge from Heavy Metals and Phosphates. Trends in the development of science and education, 96: 135–138 (in Russian). <https://doi.org/10.1841/trmio-04-2023-547>
- Dremicheva E.S. 2021. Problems of Pollution Of Water Bodies with Oil-Containing Wastewater of Industrial Enterprises and Options for Their Solution. Chemical Safety, 5(2): 66–77 (in Russian). <https://doi.org/10.25514/CHS.2021.2.20003>
- Zainullin R.R., Galyautdinov A.A. 2016. Proizvodstvo udobreniy iz osadkov stochnykh vod [Production of Fertilizers from Sewage Sludge]. Innovatsionnaya nauka, 6–2: 77–79.
- Iskhakova R.Ya., Nurgaliev A.I. 2024. Dehydration and Environmentally Friendly Thermal Processing of Excess Activated Sludge. Safety of Technogenic and Natural Systems, 8(2): 26–36 (in Russian). <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-2-26-36>
- Latypova M., Sevostyanova O. 2015. Investigation of the Processes of Biochemical Purification of Toxic Wastewater. Moscow, Publ. LAP Lambert Academic, 92 p. (in Russian).
- Moran E., Plekhanov A.V., Lobanov F.I. 2017. Thermal Treatment – a Promising Trend in Wastewater Sludge Utilization. Water Supply and Sanitary Technique, 6: 47–51 (in Russian).



- Ruchkinova, O.I., Zvereva A.N. 2020. Methods of Disposal of Sludge from Urban Wastewater Treatment Plants. Modern technologies in construction. Theory and Practice, 1: 192–196 (in Russian).
- Solodkova A.B., Sobgaida N.A., Shaikhiev I.G. 2012. Razrabotka tekhnologii izgotovleniya i ispolzovaniya adsorbenta na osnove otrabotannogo aktivnogo ila dlya ochistki stochnykh vod [Development of Technology for the Manufacture and Use of an Adsorbent Based on Spent Activated Sludge for Wastewater Treatment]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, 15(20): 179–182.
- Syunyaev, H.H., Syunyaeva, O.I., Ustyuzhanina, O.A. 2005. Issledovaniye effektivnosti primeneniya osadkov stochnykh vod v sfere APK Kaluzhskoy oblasti. [Investigation of the Effectiveness of Wastewater Sludge Application in the Agricultural Sector of the Kaluga Region]. In: Estestvoznaniye i gumanizm [Natural Science and Humanism]. Tomsk, Publ. SibSMU, 2(3): 41–42.
- Bond T., Tse Q., Chambon C.L., Fennell P., Fowler G.D., Krueger B.C., Templeton M.R. 2008. The Feasibility of Char and Bio-Oil Production from Pyrolysis of Pit La-Trine Sludge. Environmental Science: Water Research & Technology, 2: 253–264.
- Xia J., Rao T., Ji J., He B., Liu A., Sun Y. 2022. Enhanced Dewatering of Activated Sludge by Skeleton-Assisted Flocculation Process. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(11): 6540. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116540>

*Поступила в редакцию 24.09.2024;
поступила после рецензирования 07.11.2024;
принята к публикации 20.11.2024*

*Received September 24, 2024;
Revised November 07, 2024;
Accepted November 20, 2024*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Боровлев Андрей Эдуардович, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Andrey E. Borovlev, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Кайдалова Александра Сергеевна, эксперт центра валидации и верификации углеродных единиц Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет; директор ООО «ЭКОЛОГ-ПРОЕКТ», г. Белгород, Россия

Aleksandra S. Kaidalova, Expert of the Center for Validation and Verification of Carbon Units, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University; director ECOLOG-PROJECT LLC; Belgorod, Russia

Киреева-Гененко Ирина Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Irina A. Kireeva-Genenko, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia