

Обоснование ферментно-кавитационной обработки осадков сточных вод

В.А. Домрачева , Д.В. Васильковская 

 tina-domra@yandex.ru

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия*

АННОТАЦИЯ

Актуальность. На современном этапе развития общества защита поверхностных и подземных водоемов от загрязнения сточными водами является важной задачей. Основное направление – создание эффективных технологий по сбору и очистке хозяйственно-бытовых, производственных и смешанных сточных вод, позволяющих использовать образующийся в ходе очистки осадок в зависимости от его состава и способа переработки. Повышение качества осадков сточных вод зависит от выбора метода его стабилизации. **Методы.** Проведен анализ нормативно-правовых и технических документов, регламентирующих деятельность по обращению с осадками сточных вод. В соответствии с нормативными документами определен состав осадка сточных вод и выбор метода его обработки в зависимости от использования. **Результаты.** Изучен состав осадка хозяйственно-бытовых сточных вод на очистных сооружениях водоканала Иркутской области. Предложено использовать осадки сточных вод в качестве удобрения. Анализ методов стабилизации позволил выбрать и обосновать наиболее перспективный ферментно-кавитационный метод, позволяющий получать удобрение высокого качества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоочистка, сточные воды, метантенки, компостирование, удобрения, биогаз, ферменты, микроорганизмы, кавитация.

Для цитирования: Домрачева В.А., Васильковская Д.В. Обоснование ферментно-кавитационной обработки осадков сточных вод // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. № 3. С. 114–122. DOI:10.35567/19994508-2024-3-114-122.

Дата поступления 04.12.2023.

RATIONALE FOR ENZYMATIC CAVITATION TREATMENT OF SEWAGE SLUDGE

Valentina A. Domracheva , Daria V. Vasilkovskaya 

 tina-domra@yandex.ru

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

ABSTRACT

Relevance. At the present stage of development of society, protecting surface and underground water bodies from wastewater pollution is an important task. The main direction is the creation of effective technologies for the collection and purification of domestic, industrial and mixed wastewater, allowing the use of the sludge formed during treatment, depending on its composition and method of processing. Improving the quality of sewage sludge depends on the choice of method for its stabilization. **Methods.** An analysis of regulatory and technical documents regulating activities for the management of sewage sludge was carried out. In accordance with regulatory documents, the composition of sewage sludge and the choice of its treatment method are determined depending on the use. **Results.** An analysis of documents regulating wastewater

sludge management activities was carried out. The composition of domestic wastewater sludge at water treatment plants in the Irkutsk region was studied. It is proposed to use sewage sludge as a fertilizer. Analysis of stabilization methods made it possible to select and justify the most promising enzyme-cavitation method, which makes it possible to obtain high-quality fertilizer.

Keywords: water treatment, activated sludge, stabilization of sewage sludge, methane tanks, composting, fertilizers, biogas, enzymes, microorganisms, cavitation.

For citation: Domracheva V.A., Vasilkovskaya D.V. Rationale for enzymatic cavitation treatment of sewage sludge. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2024. No. 3. P. 114–122. DOI:10.35567/19994508-2024-3-114-122.

Received 04.12.2023.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы очистки сточных вод сопровождаются накоплением осадка. Осадок традиционно отправляют на иловые поля, где он в течение трех лет вылеживается, дренирует и проходит необходимые стадии солнечной просушки либо замораживания. Затем осадки, как правило, отправляют на полигон или в шламонакопитель. При этом условия размещения осадков не исключают загрязнения ими поверхностных и подземных вод, почв, растительности [1].

Важный фактор в функционировании иловых площадок – прямая зависимость от климатической нагрузки – температуры воздуха и количества осадков. В результате эксплуатация иловых площадок сопровождается снижением эффективности и последующим загрязнением окружающей среды, что в итоге создает объекты накопленного экологического вреда [2].

Анализ литературных данных [3–13] позволяет сделать вывод о том, что основные тенденции практики использования продуктов, полученных из осадка сточных вод, сводятся к использованию их энергетического потенциала или применению в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Авторы А.С. Межевова, А.И. Беляев [14], изучавшие состав осадка методом сканирующей электронной микроскопии, подтверждают эффективность его использования в качестве удобрений, полученный эффект связывают с рыхлой и неоднородной структурой, что обеспечивает его влагосорбирующие и влагоудерживающие свойства.

Традиционные технологии выдерживания осадка на иловых картах или на полигоне не исключают вероятность возникновения неблагоприятных изменений осадочных масс и негативного воздействия на окружающую среду. При использовании осадков сточных вод необходимо знать их состав, а также обеспечить соответствие нормативным требованиям, что заставляет предприятия более тщательно подходить к вопросам повышения качества осадков сточных вод и поиска эффективных технологических решений. При этом повышение качества осадков сточных вод зависит от выбора метода стабилизации.

В рамках проведенного исследования была поставлена задача определить технологии, способные повысить качество осадков хозяйственно-бытовых сточных вод, изучить состав осадка и обосновать перспективный метод стабилизации. Цель работы – обосновать ценность осадков сточных вод, образуемых на водоканале Иркутской области, повысить эффективность их обработки.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования выбран осадок, образованный в результате очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, одного из предприятий водоканала Иркутской области. Обработку осадка на предприятии производят следующим способом: после откачки из первичных отстойников со дна и поверхности зеркала, вся собранная фракция направляется в отстойник-усреднитель, где уложена система дырчатых труб для аэрации осадка, туда же подается избыточный активный ил. Далее осадок направляется сначала в цех механического обезвоживания, а потом на иловые площадки, где в течение 2–3 лет проходит стадии стабилизации и подготовки к утилизации. Дополнительно производится реагентное обеззараживание.

Нормативные документы методов испытания осадка сточных вод: ГОСТ 26713-85¹; МУ по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства; МУ по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом; МУК 4.2.2661-10²; МУК 4.2.3695-21³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Осадки сточных вод состоят из избыточного активного ила, образуемого на стадии биологической очистки и сырого осадка из первичных отстойников механической стадии очистки, причем, до 98 % состава осадков приходится на избыточный ил. Обработка осадков может проходить совместно или раздельно [15].

Результаты анализа состава двух групп осадков сточных вод представлены в таблице.

По своему составу данный осадок может быть использован в качестве удобрения или питательного почвогрунта. Полученный продукт имеет невысокое содержание углеродсодержащих веществ, т. к. массовое содержание органики составляет 36,1 %, но этого количества достаточно для его применения в сельском хозяйстве. Осадок обладает низким содержанием металлов и содержит необходимое количество биогенных элементов. Нейтральный показатель pH среды способствует поддержанию нормальной реакции среды в почве. Содержание влаги составляет 61,1 %, это сыпучий продукт, удобный для применения.

В настоящее время деятельность по обращению с осадками сточных вод регулируется, с одной стороны, отраслевыми документами водоотведения, с другой, – законодательством Российской Федерации об обращении с отходами производства и потребления⁴. Долгое время осадки сточных вод, несмотря на свои полезные свойства, приравнивали к отходам. С марта 2023 г. вступила в действие статья 51.1 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране

¹ ГОСТ 26713-85. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка. Утв. и введ. в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 19 декабря 1985 г. № 4213.

² МУК 4.2.2661-10. Методы санитарно-паразитологических исследований. Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ от 2010.07.2023. Применяется с 2010.07.2023.

³ МУК 4.2.3695-21. Методы биологического контроля почвы. Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ от 2021.06.2002. Применяется с 2021.06.2002.

⁴ Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 04.08.2023) «Об отходах производства и потребления». Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102053807>.

окружающей среды», которая регламентирует требования по обращению с побочными продуктами производства и при удовлетворительном качестве обработки допускает приравнивать осадки сточных вод к побочным продуктам производства. Согласно приведенному определению, побочный продукт производства – это продукт, образуемый в результате производства, но не являющийся его целью, который пригоден для использования в качестве сырья или продукции⁵. Это нововведение значительно облегчает жизнь водохозяйственным предприятиям, т. к. исключает проблемы утилизации иловых осадков на полигон. Однако побочный продукт должен найти свое применение в течение трех лет, иначе он признается отходом. В этом случае предприятие обязано утилизировать отход в течение 11 месяцев со дня признания или, при неисполнении этого требования, внести значительную плату за негативное воздействие на окружающую среду. Сложившаяся ситуация добавляет актуальности проблеме утилизации осадков сточных вод и стимулирует предприятия более ответственно подходить к вопросам повышения качества осадков сточных вод и поиска эффективных технологических решений.

Таблица. Характеристика обезвоженного осадка сточных вод
Table. Characteristics of the dehydrated wastewater sludge

Компонент		Фактическое содержание, мг/кг	Допустимое содержание ¹ , мг/кг		
			Группа I	Группа II	
Кадмий		0,57	15	15	
Хром		5,0	10	10	
Ртуть		0,319	7,5	7,5	
Свинец		10	250	500	
Никель		10	200	400	
Цинк		200	1750	3500	
Медь		122,1	750	1500	
Массовая доля (%)	влаги	61,1	не менее 20		
	органических веществ	36,1			
	азота общего	3,78			не менее 0,6
	фосфора общего	2,99			не менее 1.5
рН		7,6 ед.рН	5,5-8,5		
Индекс БГКП		1*101	1-9		
Цисты кишечных палочек и патогенных простейших		не обнаружено	не допускается		
Личинки и куколки синантропных мух		не обнаружено	не допускается		
Наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов		не обнаружено	не допускается		

⁵ Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102074303>.

Требования к обработанным осадкам, используемым в качестве побочной продукции, определяются следующими нормативно-техническими документами: ГОСТ Р 54534-2011⁶; ГОСТ Р 17.4.3.07⁷; СанПиН 2.1.3684-21⁸; а также техническими условиями на получаемый продукт.

При использовании осадков сточных вод в виде удобрения применение методов стабилизации является обязательным требованием. Методы стабилизации направлены на разложение органической части составляющих осадка до простых соединений, имеющих длительный период ассимиляции окружающей средой, что обеспечивает стабильность свойств осадка. Наиболее широко применяемыми и подходящими для больших объемов осадка являются биологические методы стабилизации (метод метанового брожения, аэробная стабилизация, компостирование, ферментно-кавитационная обработка). Все они имеют свои преимущества и недостатки. Так, метод метанового брожения успешно справляется с поставленными задачами стабилизации, но требует больших эксплуатационных затрат на поддержание температуры и перемешивание осадка, полученный продукт трудно поддается обезвоживанию, но пригоден для полива сельскохозяйственных культур в качестве удобрения [3]. Полученный биогаз требует обязательной утилизации, т. к. газы брожения пожаро- и взрывоопасны, а также обладают токсичным действием, этот процесс может проходить только при полной герметизации оборудования, строгом контроле уровня безопасности на производстве.

Аэробная стабилизация, в отличие от предыдущего способа, протекает быстрее, органический материал осадка разлагается и становится стабильным, т. е. сохраняет свою структуру и не подвержен дальнейшему разложению [16]. Метод требует затрат на постоянную подачу кислорода, а его эффективность зависит от температурных условий. В климатических условиях Иркутской области в зимний период из-за пониженной температуры и переохлаждения осадка эффективность аэробной стабилизации снижается и требует дополнительного подвода тепла к реактору.

Компостирование или биотермическая обработка осадка разлагает органические соединения до простых веществ и уничтожает патогенную микрофлору. Основные проблемы данного метода заключаются в его длительности и трудоемкости, процесс требует постоянных ворошений и добавки структурообразующих материалов.

Метод ферментно-кавитационной обработки объединяет физические и биологические принципы обработки осадка, сочетает в себе использование ферментов и создание кавитационных условий для разрушения клеточной

⁶ ГОСТ Р 54534-2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при использовании для рекультивации нарушенных земель. Утв. и введен в действие приказом Росстандарта от 28 ноября 2011 г. № 613-ст, введ. 2013.01.2001.

⁷ ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. М.: Стандартинформ, 2008.

⁸ СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

структуры осадка. Кавитационная обработка может быть реализована различными способами: с применением ультразвуковых колебаний для создания кавитации в осадках сточных вод; гидродинамического диспергатора или гидроциклона для создания кавитационных явлений [17, 18].

Кавитация – физический процесс образования разрывов пузырьков в жидкостях в результате понижения давления. При разрыве или схлопывании пузырька воздуха выделяется большое количество энергии, которая создает интенсивное воздействие на осадок, это способствует разрушению его коллоидной структуры, что увеличивает влагоотдачу. В результате такого действия клетки микроорганизмов, составляющие 90 % осадка сточных вод, становятся ядрами кавитации и разрываются с высвобождением богатого ферментами внутриклеточного вещества. Ферменты стимулируют биологическое разложение компонентов осадка, что приводит к уменьшению массы сырого осадка и увеличению биомассы активного ила.

Принципиальная схема реализации ферментно-кавитационного метода представлена на рисунке [19]. Процесс стабилизации протекает в реакторах башенного типа, куда нагнетается суспензия воздуха, осадка и воды. Вертикальное исполнение предполагает несколько циклов прохождения осадка через реактор. Воздух нагнетается посредством эжекторов, которые работают по принципу водоструйных насосов, что помогает экономить энергию на аэрацию.

Установлено, что температура смеси в емкостях обеспечивается за счет собственной экзотермической реакции и постоянно поддерживается в пределах 25–40 °С [20].

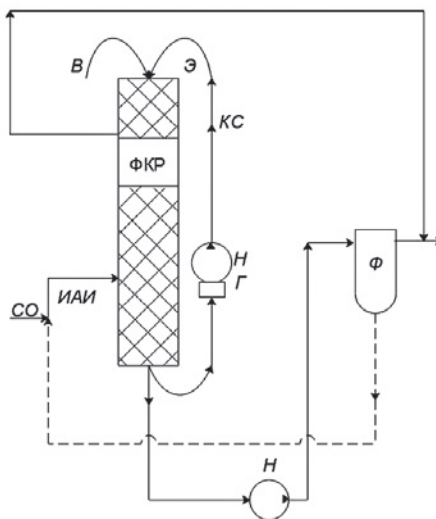


Рисунок. Принципиальная схема реализации ферментно-кавитационного метода: В – воздух, Э – эжектор, Н – насос, Г – генератор, Ф – фильтр, КС – кавитационная среда; СО – сырой осадок, ИАИ – избыточный активный ил; ФКР – ферментно-кавитационный реактор.

Figure. Schematic diagram of the implementation of the enzyme-cavitation method. В is air; Э is an ejector; Н is a pump; Г is generator; Ф is a filter; КС is cavitation medium; СО is wet sludge; ИАИ is excessive active sludge; ФКР is a ferment/cavitation reactor.

Разработанная технология ферментно-кавитационной обработки илового осадка [20] позволяет эффективно сократить его объем и увеличить влагоотдачу. После обработки указанным методом на выходе получается биологически стабильный осадок, не имеющий неприятного запаха, обеззараженный, с полной дегельминтизацией. Осадок имеет высокую степень влагоотдачи, что позволяет впоследствии обезводить его как в естественных условиях, например, на иловых картах в течение 3–6, так и с использованием механического обезвоживания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введение в действие статьи 51.1 в ФЗ № 7 «Об охране окружающей среды» способствует более ответственному подходу предприятий к вопросам обработки осадков сточных вод. В статье проанализирован опыт использования осадков сточных вод и способы их переработки. Изучен состав осадков сточных вод водоканала Иркутской области. Предложен способ использования осадка в виде удобрения для сельскохозяйственных культур. Рассмотрены методы стабилизации осадков сточных вод, определен наиболее перспективный метод биологической стабилизации осадка сточных вод – ферментно-кавитационный.

Использование ферментно-кавитационного метода направлено на обеззараживание осадка от патогенной микрофлоры, обезвреживание токсичных элементов осадка, улучшение его влагоотдающих свойств, что позволяет достигать высокой эффективности удаления органических загрязнений и повышать степень стабилизации осадка. Особенности конструкции обеспечивают экономичную эксплуатацию оборудования, вертикальное исполнение экономит занимаемые площади, а закрытая конструкция обеспечивает соблюдение санитарных требований.

Таким образом, при выборе наиболее эффективного способа стабилизации осадка сточных вод следует учитывать его характеристики, операционные параметры и требования к обработке. Ферментно-кавитационный метод является перспективным, обладает высокой эффективностью, адаптируемостью и экологической безопасностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мироненко О.В., Магомедов В. К., Паныкин А.В., Суворова О.К., Федорова Е.А. Гигиеническая оценка воздействия выбросов из тела полигона для складирования осадков сточных вод на здоровье населения // Экология человека. 2020. № 11. С. 4–13. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-11-4-13.
2. Дрегуло А.М. Влияние климатических факторов на эксплуатацию природно-технических систем обработки отходов водоотведения // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2020. № 6. С. 32–41.
3. Благоразумова А.М. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод: уч. пособие. СПб.: Лань, 2014. 208 с.
4. Графова Е.О., Паршин Н.В. Исследование методов обработки осадков сточных вод петрозаводских очистных сооружений // Resources Technology. 2019. № 4. С. 94–115.
5. Новикова О.К. Обработка осадков сточных вод: учеб.-метод. пособие. Гомель: БелГУТ, 2015. 96 с.
6. Смирнов Ю.Д., Сучкова М.В. Перспективы полезного использования золы сжигания осадка сточных вод в народном хозяйстве // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 3 (79). С. 16–25. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.16-25.
7. Межевова А.С., Берестнева Ю.В., Бикметова К.Р. Апробация органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод // Агрехимический вестник. 2020. № 6. С. 71–74.

8. Петрова Т.А., Рудзиш Э. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 767–776. DOI:10.31897/PMI.2021.5.6.
9. Межевова А.С. Использование илового осадка сточных вод при возделывании сафлора красивого на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Юг России: экология, развитие. 2020. № 3 (56). С. 43–52. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-43-52.
10. Тиньгаев А.В., Чепрунова Ю.В. Влияние поллютантов в почвогрунтах агроландшафта рекультивируемого полигона на сельскохозяйственные культуры // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14. № 2. С. 373–386. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-2-373-386.
11. Маненко А.К., Ткаченко Г.М., Касиян О.П., Юрченко С.Т. Гигиеническое обоснование возможности использования ила из сооружений по очистке сточных вод в качестве органического удобрения // Гигиена и санитария. 2020. № 3. С. 259–264. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-3-259-264.
12. Аубакирова И.У. Использование осадка водоочистных сооружений при производстве строительных материалов // Вода и экология: проблемы и решения. 2020. №4 (84). С. 32–37. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.4.32-37.
13. Герасимов Г.Н. Обработка осадков сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 12. С. 67–71.
14. Межевова А.С., Беляев А.И. Нетрадиционные элементы технологии возделывания сельскохозяйственных культур с использованием удобрений мелиорантов // Юг России: экология, развитие. 2022. №3 (64). С. 187–196. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-187-196.
15. Межевова, А.С., Новиков А.Е. Состав, структура и морфология осадка сточных вод // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2021. № 1 (61). С. 389–399.
16. Хисамеева Л.Р., Селюгин А.С., Абитов Р.Н. и др. Обработка осадков городских сточных вод. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. 105 с.
17. Конюхова М.М. Ультразвуковая деструкция загрязнителей в природе воде // Инновации и инвестиции. 2021. № 6. С. 162–167.
18. Радзюк А.Ю., Истягина Е.Б., Кулагина Л.В., Жуйков А.В. Современное состояние использования кавитационных технологий (краткий обзор) // Известия Томского политехнического университета. 2022. № 9. С. 209–218. DOI: 10.18799/24131830/2022/9/3623.
19. Пындак В.И., Степкина Ю.А., Степкин А.А. Обоснование ферментно-кавитационного метода переработки хозяйственно-бытовых стоков с получением удобрений-мелиорантов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2013. №3 (31). С. 183–189.
20. Степкина Ю.А. Совершенствование технологий и систем обработки осадка при очистке сточных вод, получение и апробация комплексного удобрения: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Волгоград, 2009. 23 с.

REFERENCE

1. Mironenko O.V., Magomedov V.K., Pankin A.V., Suvorova O.K., Fedorova E.A. Hygienic assessment of the impact of emissions from a landfill for storing sewage sludge on public health. *Human Ecology*. 2020. No. 11. Pp. 4–13. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-11-4-13 (In Russ.).
2. Dregulo A.M. Influence of climatic factors on the operation of natural-technical wastewater treatment systems. *Bulletin of Moscow University*. Ser. 5. Geography. 2020. No. 6. Pp. 32–41 (In Russ.).
3. Blagorasumova A.M. Treatment and dewatering of municipal wastewater sludge: textbook. allowance. St. Petersburg: Lan, 2014. 208 p. (In Russ.).
4. Grafova E.O., Parshin N.V. Study of methods for treating sewage sludge from Petrozavodsk wastewater treatment plants. *Resources Technology*. 2019. No. 4. Pp. 94–115 (In Russ.).
5. Novikova O.K. Treatment of sewage sludge: educational method. manual Gomel: BelGUT, 2015. 96 p. (In Russ.).
6. Smirnov Y.D., Suchkova M.V. Prospects for the beneficial use of wastewater sludge combustion ash in the national economy. *Water and ecology: problems and solutions*. 2019. No. 3 (79). Pp. 16–25. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.16-25 (In Russ.).
7. Mezhevova A.S., Berestneva Yu.V., Bikmetova K.R. Approbation of organomineral fertilizer based on sewage sludge. *Agrochemical Bulletin*. 2020. No. 6. Pp. 71–74 (In Russ.).

8. Petrova T.A., Rudzish E. Recultivation of technogenically disturbed lands using sewage sludge as ameliorants. *Newsletter of the Mining Institute*. 2021. Vol. 251. Pp. 767–776. DOI: 10.31897/PMI.2021.5.6 (In Russ.).
9. Mezheva A.S. Use of sewage sludge in the cultivation of safflower on light chestnut soils of the Volgograd region. *South of Russia: ecology, development*. 2020. No. 3 (56). Pp. 43–52. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-3-43-52 (In Russ.).
10. Tingaev A.V., Cheprunova Y.V. The influence of pollutants in the soils of the agricultural landscape of the recultivated landfill on agricultural crops. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. T. 14. No. 2. Pp. 373–386. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-2-373-386 (In Russ.).
11. Manenko A.K., Tkachenko G.M., Kasiyan O.P., Yurchenko S.T. Hygienic justification for the possibility of using sludge from wastewater treatment facilities as an organic fertilizer. *Hygiene and Sanitation*. 2020. No. 3. Pp. 259–264. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-3-259-264 (In Russ.).
12. Aubakirova I.U. Use of sludge from water treatment facilities in the production of building materials. *Water and ecology: problems and solutions*. 2020. No. 4 (84). Pp. 32–37. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.4.32-37 (In Russ.).
13. Gerasimov G.N. Treatment of sewage sludge. *Water supply and sanitary technology*. 2008. No. 12. Pp. 67–71 (In Russ.).
14. Mezheva A.S., Belyaev A.I. Non-traditional elements of technology for cultivating agricultural crops using ameliorant fertilizers. *South of Russia: ecology, development*. 2022. No. 3 (64). Pp. 187–196. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-187-196 (In Russ.).
15. Mezheva, A.S., Novikov A.E. Composition, structure and morphology of sewage sludge. *News of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2021. No. 1 (61). Pp. 389–399 (In Russ.).
16. Khisameeva L.R., Selyugin A.S., Abitov R.N. et al. Treatment of urban wastewater sludge. M.: IP Ar Media, 2022. 105 p. (In Russ.).
17. Konyukhova M.M. Ultrasonic destruction of pollutants in natural water /M. M. Konyukhova -Text: direct innovations and investments. 2021. No. 6. Pp. 162–167 (In Russ.).
18. Radzyuk A.Yu., Istyagina E.B., Kulagina L.V., Zhuikov A.V. Current state of use of cavitation technologies (brief review). *News of Tomsk Polytechnic University*. 2022. No. 9. Pp. 209–218. DOI: 10.18799/24131830/2022/9/3623 (In Russ.).
19. Pyndak V.I., Stepkina Y.A., Stepkin A.A. Justification of the enzyme-cavitation method for processing household wastewater to obtain ameliorant fertilizers. *News of the Nizhnevolsk Agro-University Complex*. 2013. No. 3 (31). Pp. 183–189 (In Russ.).
20. Stepkina Yu.A. Improving technologies and systems for treating sludge during wastewater treatment, obtaining and testing complex fertilizers: abstract of the candidate thesis. Volgograd, 2009. 23 p. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Домрачева Валентина Андреевна, д-р техн. наук, профессор, кафедра обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, И-122; e-mail: tina-domra@yandex.ru

Васильковская Дарья Витальевна, магистрант, кафедра обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, И-122; ORCID: 0009-0008-6177-3003; e-mail: Vasilkovskaya.d@yandex.ru

About the authors:

Valentina A. Domracheva, Doctor of Engineering Sciences, Professor, S.B. Leonov Department of Mineral Processing and Environmental Protection, Irkutsk National Research Technical University, ul. Lermontova, 83, Irkutsk, Russia; e-mail: tina-domra@yandex.ru

Daria V. Vasilkovskaya, Postgraduate Student, S. B. Leonov Department of Mineral Processing and Environmental Protection, Irkutsk National Research Technical University, ul. Lermontova, 83, Irkutsk, Russia; ORCID: 0009-0008-6177-3003; e-mail: Vasilkovskaya.d@yandex.ru