

ISSN 1993-3509 (online)

Современное промышленное и гражданское строительство. 2024. Т. 20, № 3. С. 153–161.
Modern Industrial and Civil Construction. 2024. Vol. 20, no. 3. P. 153–161.

Научная статья

УДК 628.381

doi: 10.71536/spgs.2024.v20n3.4

edn: [fietoc](#)



ГИПОХЛОРИТ НАТРИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ РЕАГЕНТ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ИЗБЫТОЧНОЙ БИОМАССЫ ИЛА

Виктор Иванович Нездойминов¹, Анастасия Вадимовна Могукало²,
Владислав Владиславович Ручка³

^{1,2,3}Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия

¹v.i.nezdoiminov@donnasa.ru, ²a.v.mogukalo@donnasa.ru, ³v.v.ruchka@donnasa.ru

Аннотация. В работе исследовано влияние химического дезинфектанта гипохлорита натрия на избыточную биомассу ила в отношении повышения ее стабильности и снижения патогенной обсеменённости. Установлено влияние «активного» хлора на повышение окислительно-восстановительного потенциала и pH иловой смеси. Предлагаемая концентрация «активного» хлора 15 мг/г осадка обеспечивает стабильность осадка на уровне 93 %, что подавляет рост гнилостных и факультативно анаэробных микроорганизмов, включая патогенные в течение 12 суток хранения осадка при влажности 95 % и более. Установлена эффективность снижения количества бактериальной группы кишечной палочки в осадке при обработке его гипохлоритом натрия, которая составила 95 %. Обработанный осадок гипохлоритом натрия рекомендуется использовать для биологической рекультивации неплодородных почв.

Ключевые слова: обеззараживание, избыточная биомасса, гипохлорит натрия, стабильность, патогенные микроорганизмы

Для цитирования: Нездойминов В. И., Могукало А. В., Ручка В. В. Гипохлорит натрия как альтернативный реагент для обеззараживания и повышения стабильности избыточной биомассы ила // Современное промышленное и гражданское строительство. 2024. Т. 20, № 3. С. 153–161.
doi: 0.71536/spgs.2024.v20n3.4. edn: [fietoc](#).

Original article

SODIUM HYPOCHLORITE AS AN ALTERNATIVE REAGENT FOR DISINFECTION AND INCREASING THE STABILITY OF EXCESS SLUDGE BIOMASS

Viktor I. Nezdoiminov¹, Anastasia V. Mogukalo², Vladislav V. Ruchka³

^{1,2,3}Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia

¹v.i.nezdoiminov@donnasa.ru, ²a.v.mogukalo@donnasa.ru, ³v.v.ruchka@donnasa.ru

Abstract. The paper investigates the effect of the chemical disinfectant sodium hypochlorite on excess sludge biomass in terms of increasing its stability and reducing pathogenic contamination. The effect of «active» chlorine on an increase in the redox potential and pH of the sludge mixture has been established. The proposed concentration of «active» chlorine of 15 mg/g of sediment ensures sediment stability at the level of 93 %, which suppresses the growth of putrefactive and facultatively anaerobic microorganisms, including pathogenic ones, during 12 days of sediment storage at a humidity of 95 % or more. The effectiveness of reducing the amount of the bacterial group of *E. coli* in the sediment during its treatment with sodium hypochlorite was established, which amounted to 95 %. Treated sediment with sodium hypochlorite is recommended for biological reclamation of infertile soils.

Keywords: disinfection, excess biomass, sodium hypochlorite, stability, pathogenic microorganisms



For citation: Nezdoimino V. I., Mogukalo A. V., Ruchka V. V. Sodium hypochlorite as an alternative reagent for disinfection and increasing the stability of excess sludge biomass. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2024;20(3):153–161. (In Russ.). doi: 0.71536/spgs.2024.v20n3.4. edn: fietoc.

Актуальность темы

Внедрение в технологию очистки городских сточных вод новых подходов по использованию отходов (органических осадков) позволит повысить экономическую устойчивость городских очистных сооружений и уровень экологической безопасности.

Обработка и обеззараживание избыточной биомассы ила представляет собой сложную и окончательно не решенную задачу в водопроводно-канализационном хозяйстве. На сегодняшний день избыточная биомасса вместе с сырым осадком размещается на иловых площадках и негативно влияет на состояние окружающей среды. В соответствии с санитарными нормами, образующаяся в аэротенках избыточная биомасса по содержанию болезнетворных микроорганизмов не допускается к использованию в сельском хозяйстве или для благоустройства территорий. Поэтому следует разработать экономически и экологически оправданные методы обеззараживания избыточной биомассы ила от патогенных микроорганизмов до уровня, установленного санитарными нормами [1].

Технология биологической очистки сточных вод связана с образованием большого количества избыточного ила, представляющий биоценоз различных физиологических групп микроорганизмов. При достаточных концентрациях кислорода в активном иле превалируют аэробные микроорганизмы, хотя в микрозонах флокул, где практически отсутствует кислород, получают развитие анаэробы, включая болезнетворные [2]. В зависимости от концентрации кислорода, температуры, размеров флокул и других факторов происходит изменение соотношения между аэробными и анаэробными группами микроорганизмов активного ила. Загрязненность биомассы ила патогенами на порядок выше, чем сточных вод в аэротенке. Болезнетворные микроорганизмы активного ила способны вызывать инфекционные заболевания как холера, дизентерия и др. в течение длительного хранения осадка на иловых площадках. Количество патогенов в 1 грамме ила достигает 10^5 и более [3–5].

Цель исследования

Цель данной работы заключается в обосновании процессов обеззараживания избыточного активного ила от патогенных микроорганизмов и повышение стабильности ила при обработке его химическим реагентом (гипохлоритом натрия).

Основной материал

Многочисленные исследования показали, что избыточный активный ил обладает удобрительными свойствами за счет высокого содержания биогенных элементов, таких как азот, фосфор и калий. Данные показатели позволяют использовать осадок в качестве удобрительного материала. Основным препятствием повсеместного использования биологического осадка является высокая бактериальная обсеменённость патогенными микроорганизмами и подверженность его к загниванию с выделением дурнопахнущих веществ. В большинстве случаев на очистных сооружениях отсутствуют технологии, направленные на обеззараживание осадка и его утилизации. Обработка осадка в современных условиях превратилась в сложную комплексную проблему, поэтому ее необходимо рассматривать с учетом экологических и экономических составляющих [6–7].

В мировой практике существуют несколько методов обеззараживания избыточного активного ила от патогенных микроорганизмов, вирусов, яиц гельминтов и др. В настоящее время на практике рекомендуют использовать в основном химические методы обеззараживания биологических осадков [8–9]. Наиболее часто используемым химическим веществом для уменьшения патогенных микроорганизмов в биомассе ила является негашеная известь. Этот метод обработки применяется в ряде очистных сооружений Российской Федерации. Исследования [10] показали, что оптимальная доза негашёной извести для обработки осадка составляет 20–30 % от массы осадка. Данная доза обеспечивает повышением pH среды 12 и более. При данной обработке

происходит уменьшение влажности осадка и уничтожение патогенных микроорганизмов. Нами проведенные исследования продемонстрировали, что объем добавляемой извести может быть уменьшен до 10 % от массы сухого вещества ила благодаря предварительной аэробной стабилизации, процесс которой обеспечивает снижение патогенной обсеменённости на 75–80 % [11–13]. Стоит отметить, что добавление извести определенной дозы в осадок приводит к повышению щелочности и содержанию кальция, что несколько ограничивает использование данного вида удобрительного материала. Данный осадок рекомендуется использовать для почв с повышенной кислотностью.

Новые подходы к химической обработке избыточного активного ила с применением хлорсодержащих веществ могут показать высокую эффективность, что и являлось основной гипотезой данной работы. Выбор дезинфицирующего хлорсодержащего вещества обусловлен содержанием в нем «активного» хлора, способного вступать в реакции взаимодействия с бактериальными клетками биомассы ила. «Активный» хлор через клетку бактерии проникает внутрь путём диффузии [6]. Затем хлор вступает в окислительную реакцию, что приводит к коагуляции белковых ферментов и нарушает метаболические процессы, что влечет за собой гибель бактерии [7]. Антимикробный эффект хлора высок, причем независимо от его формы, внесенной в осадок. Одним из альтернативных реагентов является гипохлорит натрия (ГПХН). Обработка осадка ГПХН фактически представляет собой эффективный метод дезинфекции осадка от болезнетворных микроорганизмов, в результате которого образуются бактерицидные вещества HClO и ClO^- [14]. Гипохлорит натрия является дезинфектантом пролонгированного действия, который характеризуется способностью поддерживать обеззараживающий эффект в течение длительного времени. Введение хлорного дезинфектанта в осадок в виде водного раствора обеспечивает равномерное распределение ионов хлора в объеме, и повышает степень его использования.

Достаточно подробно изучены особенности эффективного обеззараживания в системе водоочистки природных и сточных вод химическими дезинфектантами, включая гипохлорит натрия. Изучено влияние биоцидной обработки

на снижение мутности, цветности, концентрации органических и неорганических загрязнений в обрабатываемой природной воде. Подробных сведений касательно обеззараживания биологических осадков ГПХН сточных вод в литературных источниках отсутствуют либо носят несколько поверхностный характер.

Для изучения бактерицидной активности ГПХН относительно избыточного активного ила городских очистных сооружений, был проведен комплекс лабораторных исследований. На первом этапе изучали влияние различных концентраций ГПХН и времени обработки на повышение окислительно-восстановительных потенциала (ОВП) и рН иловой смеси. Бактерицидную активность гипохлорита натрия оценивали по концентрации «активного» хлора в пересчете на Cl_2 , отнесенный к одному грамму сухого вещества осадка. В эксперименте концентрация активного ила составляла 2,0 г/м³, значения илового индекса ровнялось 90 см³/г. Окислительно-восстановительный потенциал иловой смеси в начале эксперимента +250 мВ, рН – 7,2. Активный ил культивировался в аэротенке с нагрузкой 0,12 кг/кг в сутки, что обеспечивало высокое качество очистки от органических загрязнений и устойчивое протекание процесса нитрификации. Флокулы активного ила имели темно-коричневый цвет, обладая землистым запахом. Выбранные концентрации гипохлорита натрия по «активному» хлору составляли 15 и 45 мг/г осадка по сухому веществу.

В таблице 1 представлена динамика повышения ОВП иловой смеси в течение 90 минут после обработки ее различными дозами ГПХН.

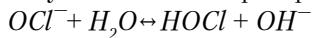
Полученные данные свидетельствуют, что с увеличением дозы вносимого гипохлорита в иловую воду возрастают значения ОВП среды. Так, при концентрации «активного» хлора 15 мг/г в течение первых 30 минут произошло повышение ОВП с +250 мВ до +520 мВ, при дозе 45 мг/г значение ОВП выросло с +250 мВ до +730 мВ. Это вполне объяснимо, так как ГПХН обладает ярко выраженными окислительными свойствами, который вступает в реакции с восстановителями, независимо от рН среды. Также стоит отметить, что после 30 минутной обработки значение ОВП стабилизировалось и значительных изменений не происходило.

Одновременно наблюдалась динамика изменения уровня рН иловой смеси при введении

гипохлорита натрия с различными концентрациями «активного» хлора. Полученные данные представлены в таблице 2.

Внесение различных ГПХН приводило к некоторому увеличению pH в течение первых 30 минут. При добавлении «активного» хлора дозой 15 мг/г, увеличение pH произошло до 7,7. При увеличении дозы «активного» хлора до 45 мг/г, pH возросло до 8,6. Аналогично повышению ОВП, рост pH происходит в период первых 30 минут, после чего значение снижается. Это связано с тем, что хлорноватистая кислота является очень

слабой, гипохлорит-ион в водной среде подвергается гидролизу с повышением pH среды:



Также, в процессе проведения экспериментальных исследований установлено, что добавление гипохлорита натрия улучшает седиментационные свойства ила. В цилиндры объемом 100 см³ была добавлена иловая жидкость концентрацией 2,0 г/дм³. В один из них добавлен гипохлорит натрия с концентрацией активного хлора 15 мг/г. После внесения ГПХН цвет флокул активного ила приобрел светло-коричневым оттенок (рисунок 1).

Таблица 1 – Повышение ОВП иловой смеси после обработки ГПХН в течение 90 минут

Доза ГПХН в пересчете на «активный» хлор, мг/г осадка	Время, минуты			
	0	30	60	90
	Окислительно-восстановительный потенциал, мВ			
15	+420	+510	+520	+520
45	+610	+710	+720	+720

Таблица 2 – Динамика изменения pH среды иловой смеси после обработки ГПХН в течение 90 минут

Доза ГПХН в пересчете на «активный» хлор, мг/г осадка	Время, минуты			
	0	30	60	90
	pH среды иловой смеси			
15	7,5	7,7	7,5	7,5
45	8,4	8,6	8,1	8,1



Рисунок 1 – Объем осадка исходного и обработанного ГПХН дозой 15 мг/г по истечению 30 минут (слева – исходный осадок; справа – осадок обработанный ГПХН).

По истечению 30 минут, объем уплотненного ила в цилиндре без обработки составил – 18 см³, с добавкой «активного» хлора – 13 см³. В необработанном иле иловый индекс составил – 90 см³/г, а при добавлении гипохлорита натрия с концентрацией 15 мг/г – 65 см³/г.

Подавление роста факультативно анаэробных микроорганизмов, включая болезнетворные оценивалось по относительной стабильности осадка (S). В свою очередь стабильность определялась через критическое значение rH_2 , когда пре-валируют окислительные процессы над восстановительными. Величина стабильности определялась по формуле (1):

$$S = (1 - 0,794^t) \times 100 \%, \quad (1)$$

где S – стабильность осадка, %;

t – время изменения rH_2 до «критического» значения, сутки.

На рисунке 2 показаны изменения значения rH_2 для исходной иловой жидкости и после внесения различных доз гипохлорита натрия.

По данным выражения (1), стабильность необработанного осадка не превышала 6 %, что эквивалентно 6 часам протекания окислительных процессов. Обработка осадка с использованием ГПХН с концентрацией «активного» хлора в 15 мг/г позволяет увеличить стабильность до 93 %. Примечательно, что повышение концентрации хлора до 45 мг/г не привело к дальнейшему повышению стабильности обработанного осадка. Уровень стабильности 93 % соответствует 12 суткам, в течение которых в осадке влажностью

95 % и выше наблюдается доминирование окислительных процессов над восстановительными.

Параллельно в процессе химической обработки контролировалось изменение количества патогенных микроорганизмов. Однако из-за многочисленности различных видов патогенных форм микроорганизмов, сложности, длительности и опасности работы с ними, рекомендуется использовать санитарно-показательные микроорганизмы, а именно бактериальную группу кишечной палочки (БГКП). Исходя из этого, бактерицидная эффективность гипохлорита натрия по отношению к илу оценивалась по снижению БГКП.

В иловую смесь вносились концентрации по «активному» хлору 15 и 45 мг/г сухого вещества осадка. После введения гипохлорита натрия время контакта ила с ГПХН составило не менее 30 минут. На рисунке 3 представлен обработанный осадок ГПХН, влажностью 85 %.

Снижение БГКП в осадке после обработки ГПХН представлено в таблице 3.

В ходе обработки избыточного активного ила с применением гипохлорита натрия при концентрации «активного» хлора на уровне 15 мг/г достигнуто снижение уровня кишечной палочки на 95 %. Увеличение дозировки хлора до 45 мг/г сокращает содержание БГКП на 99 %. Данные результаты показывают, что при обработке осадка концентрацией «активного» хлора 15 мг/г количество БГКП снижается до приемлемых значений, что делает осадок пригодным для повторного использования.

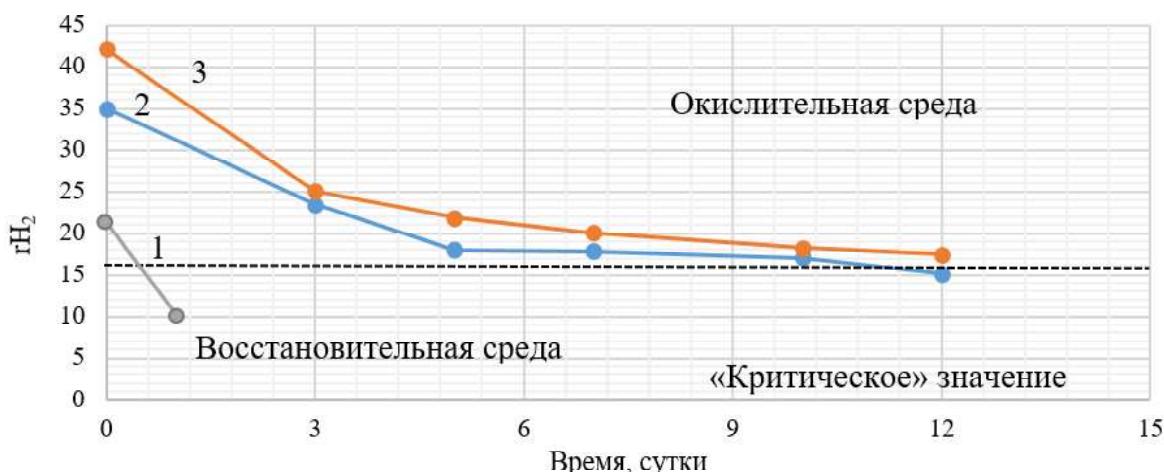


Рисунок 2 – Динамика изменения rH_2 жидкой фазы илового осадка до и после обработки ГПХН (1 – необработанный осадок; 2 – обработанный осадок ГПХН с концентрацией «активного» хлора 15 мг/г; 3 – то же 45 мг/г).



Рисунок 3 – Внешний вид обезвоженного осадка после внесения ГПХН с концентрацией «активного» хлора 15 мг/г осадка.

Таблица 3 – Снижение БГКП осадка при введении гипохлорита натрия с разной концентрацией «активного» хлора

Концентрация «активного хлора», мг/ г осадка по сухому веществу	Количество БГКП КОЕ/г сухого вещества	Эффективность снижения БГКП, %
0	10^6-10^8	–
15	10^3-10^2	95
45	$< 10^2$	> 99

Вывод

1. Для снижения патогенной обсемененности и повышения стабильности избыточной биомассы ила рекомендуется использовать химический дезинфектант пролонгированного действия – гипохлорит натрия.
2. Внесение гипохлорита натрия дозой «активного» хлора 15 мг/г обеспечивает относительную

стабильность избыточного ила не менее 93 %, когда в течение 12 суток хранения осадка влажностью 95 % и более окислительные процессы подавляют рост гнилостных и патогенных микроорганизмов. Эффективность снижения БГКП в обработанном осадке гипохлоритом натрия достигает 95 %, что делает осадок пригодным для повторного использования.

Список источников

1. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений = Nature protection. Soils. Requirements for sewage sludge use for fertilization : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 23 января 2001 г. № 30-ст : введен впервые : дата введения 2001-10-01 / разработан ОАО «Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды». – Москва : Стандартинформ, 2001. – Текст : непосредственный.
2. The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality / B. Wilen, R. Liebana, F. Persson [et al.]. – DOI: 10.1007/s00253-018-8990-9. – Текст : электронный // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2018. – № 102(3). – С. 5005–5020. – URL: https://research.chalmers.se/publication/503349/file/503349_Fulltext.pdf (дата доступа: 10.08.2024). – DOI: 10.1007/s00253-018-8990-9.

References

1. GOST R 17.4.3.07-2001. Nature protection. Soils. Requirements for sewage sludge use for fertilization : state standard of the Russian Federation : official publication : approved and put into effect by Resolution of the State Standard of Russia dated January 23, 2001, № 30-st : introduced for the first time : date of introduction 2001-10-01 / developed by JSC «Research Institute for Public Water Supply and Water Purification». – Moscow : Standartinform, 2001. – Text : direct. (in Russian)
2. Wilen, B.; Liebana, R.; Persson, F. [et al.]. The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality. – Text : electronic. – In: *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2018. – № 102(3). – P. 5005–5020. – URL: https://research.chalmers.se/publication/503349/file/503349_Fulltext.pdf (date of access: 10.08.2024). – DOI: 10.1007/s00253-018-8990-9.

URL: https://research.chalmers.se/publication/503349/file/503349_Fulltext.pdf (дата обращения: 10.08.2024).

3. Касатиков, В. А. Агрогеохимические свойства осадков городских сточных вод и торфоиловых компостов / В. А. Касатиков. – Текст : непосредственный // Агрохимия. – 1996. – № 8–9. – С. 87–96.
4. Валиев, В. С. Способы утилизации осадков городских сточных вод (обзор) / В. С. Валиев, Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин. – DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10034. – Текст : электронный // Российский журнал прикладной экологии. – 2020. – № 4. – С. 52–63. – URL: <https://rjae.ru/index.php/rjae/article/view/27> (дата обращения: 24.08.2024).
5. Янин, Е. П. Осадки городских сточных вод как источник биологического загрязнения окружающей среды / Е. П. Янин. – Текст : непосредственный // Экологическая экспертиза. – 2009. – № 2. – С. 48–77.
6. Gottardi, W. Chlorine covers on living bacteria: the initial step in antimicrobial action of active chlorine compounds / W. Gottardi, M. Nagl. – DOI: 10.1093/jac/dki054. – Текст : электронный // Journal of Antimicrobial Chemotherapy. – 2005. – Volume 55, Issue 4. – С. 475–482. – URL: <https://academic.oup.com/jac/article-abstract/55/4/475/801215?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения: 10.08.2024).
7. Electrochemical pretreatment for stabilization of waste activated sludge: Simultaneously enhancing dewaterability, inactivating pathogens and mitigating hydrogen sulfide / Q. Zeng, F. Zan, T. Hao [et al.]. – DOI: 10.1016/j.watres.2019.115035. – Текст : электронный // Water Research. – 2019. – Volume 166. – С. 12. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419308097> (дата обращения: 27.08.2024).
8. Кармазинов, Ф. В. Опыт водоканала Санкт-Петербурга по обработке и утилизации осадков / Ф. В. Кармадинов, М. Д. Пробирский, Б. В. Васильев. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – № 12. – С. 13–15.
9. Мирный, А. Н. Критерии выбора технологии обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов / А. Н. Мирный. – Текст : непосредственный // Чистый город. – 1998. – № 1. – С. 8–15.
10. Фомина, И. Г. Методология исследования качества осадков сточных вод для возможности использования их в качестве удобрений / И. Г. Фомина. – Текст : непосредственный // Сборник II межотраслевой научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2013. – № 1. – С. 62–64.
11. Нездойминов, В. И. Влияние окислительно-восстановительного потенциала на снижение патогенной обсемененности активного ила при аэробной стабилизации / В. И. Нездойминов, А. В. Могукало. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2022. – Том 18, № 4. – С. 167–175. – URL: https://www.donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2022-4/st_04_nezdoyminov_mogukalo.pdf (дата обращения: 11.08.2024). (in Russian)
12. Nezdoyminov, V. I.; Mogukalo, A. V. The Effect of the Oxidation-Reduction Potential on the Reduction of Pathogenic Contamination of Activated Sludge During Aerobic Stabilization. – Text : electronic. – In: *Modern Industrial and Civil Construction*. – 2022. – Volume 18, № 4. – P. 167–175. – URL: https://www.donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2022-4/st_04_nezdoyminov_mogukalo.pdf (дата обращения: 11.08.2024). (in Russian)
13. Kasatikov, V. A. Agrogeochemical properties of municipal wastewater sludge and peat composts. – Text : direct. – In: *Agrochemistry*. – 1996. – № 8–9. – P. 87–96. (in Russian)
14. Valiev, V. S.; Ivanov, D. V.; Shagidullin, R. R. Methods for urban wastewater sludge disposal (review). – Text : electronic. – In: *Russian Journal of Applied Ecology*. – 2020. – № 4. – P. 52–63. – URL: <https://rjae.ru/index.php/rjae/article/view/27> (date of access: 24.08.2024). – DOI: 10.24411/2411-7374-2020-10034. (in Russian)
15. Yanin, E. P. Municipal wastewater sludge as a source of biological pollution of the environment. – Text : direct. – In: *Environmental expertise*. – 2009. – № 2. – P. 48–77. (in Russian)
16. Gottardi, W.; Nagl, M. Chlorine covers on living bacteria: the initial step in antimicrobial action of active chlorine compounds. – Text : electronic. – In: *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. – 2005. – Volume 55, Issue 4. – P. 475–482. – URL: <https://academic.oup.com/jac/article-abstract/55/4/475/801215?redirectedFrom=fulltext> (date of access: 10.08.2024). – DOI: 10.1093/jac/dki054.
17. Zeng, Q.; Zan, F.; Hao, T. [et al.]. Electrochemical pretreatment for stabilization of waste activated sludge: Simultaneously enhancing dewaterability, inactivating pathogens and mitigating hydrogen sulfide. – Text : electronic. – In: *Water Research*. – 2019. – Volume 166. – С. 12. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419308097> (date of access: 27.08.2024). – DOI: 10.1016/j.watres.2019.115035.
18. Karmazinov, F. V.; Probirsky, M. D.; Vasiliev, B. V. Experience of the St. Petersburg water utility in processing and recycling sludge. – Text : direct. – In: *Water supply and sanitary engineering*. – 2002. – № 12. – P. 13–15. (in Russian)
19. Mirny, A. N. Criteria for choosing a technology for the disposal and processing of solid municipal waste. – Text : direct. – In: *Clean City*. – 1998. – № 1. – P. 8–15. (in Russian)
20. Fomina, I. G. Methodology for studying the quality of sewage sludge for the possibility of using it as fertilizers. – Text : direct. – In: *Collection of the II inter-industry scientific and practical conference of young scientists and specialists*. – 2013. – № 1. – P. 62–64. (in Russian)
21. Nezdoyminov, V. I.; Mogukalo, A. V. The Effect of the Oxidation-Reduction Potential on the Reduction of Pathogenic Contamination of Activated Sludge During Aerobic Stabilization. – Text : electronic. – In: *Modern Industrial and Civil Construction*. – 2022. – Volume 18, № 4. – P. 167–175. – URL: https://www.donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2022-4/st_04_nezdoyminov_mogukalo.pdf (date of access: 11.08.2024). (in Russian)
22. Nezdoyminov, V. I.; Mogukalo, A. V. Increasing the Redox Potential of the Sludge Mixture in the Nitrification Process. – Text : electronic. – In: *Modern Industrial and Civil Construction*. – 2023. – Volume 19,

donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2022-4/st_04_nezdoyminov_mogukalo.pdf (дата обращения: 11.08.2024).

12. Нездойминов, В. И. Повышение окислительно-восстановительного потенциала иловой смеси в процессе нитрификации / В. И. Нездойминов, А. В. Могукало. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2023. – Том 19, № 1. – С. 33–40. – URL: https://donna.ru/publish_house/journals/spgs/2023-1/st_04_nezdoyminov_mogukalo.pdf (дата обращения: 14.08.2024).

13. Могукало, А. В. Комплексная обработка избыточного активного ила от патогенной обсеменённости : специальность 2.1.4 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Могукало Анастасия Вадимовна ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2023. – 125 с. – Текст : непосредственный.

14. Хлорные дезинфектанты и их применение в современной водоподготовке / А. Б. Швецов, А. В. Коzyрева, С. Г. Седунов [и др.]. – Текст : электронный // Молекулярные технологии. – 2009. – Том 3. – С. 98–121. – URL: <http://www.niipa.ru/journal/articles/6.pdf> (дата обращения: 15.08.2024).

№ 1. – Р. 33–40. – URL: https://donna.ru/publish_house/journals/spgs/2023-1/st_04_nezdoyminov_mogukalo.pdf (date of access: 14.08.2024). (in Russian)

13. Mogukalo, A. V. Complex treatment of excess activated sludge from pathogenic contamination : specialty 2.1.4 «Water supply, sewerage, construction systems for the protection of water resources» : dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Mogukalo Anastasia ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeevka, 2023. – 125 p. – Text : direct. (in Russian)

14. Shvetsov, A. B.; Kozyreva, A. V.; Sedunov, S. G. [et al.]. Chlorine disinfectants and their use in modern water treatment. – Text : electronic. – In: *Molecular technologies*. – 2009. – Volume 3. – P. 98–121. – URL: <http://www.niipa.ru/journal/articles/6.pdf> (date of access: 15.08.2024).

Информация об авторах

Нездойминов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: очистка сточных вод, обработка осадков, системы аэрации сточных вод.

Могукало Анастасия Вадимовна – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: обработка осадков сточных вод.

Ручка Владислав Владиславович – аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: обработка осадков сточных вод.

Information about the authors

Nezdoiminov Viktor I. – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: wastewater treatment, precipitation treatment, wastewater aeration systems.

Mogukalo Anastasia V. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: sewage sludge treatment.

Ruchka Vladislav V. – Postgraduate student of the Department of Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: sewage sludge treatment.

Статья поступила в редакцию 18.09.2024; одобрена после рецензирования 21.10.2024; принята к публикации 25.10.2024.

The article was submitted 18.09.2024; approved after reviewing 21.10.2024; accepted for publication 25.10.2024.