

Строитель Донбасса. 2025. Выпуск 2-2025 С. 70-76. ISSN 2617-1848 (print)
The Builder of Donbass. 2025. Issue 2-2025. P. 70-76. ISSN 2617-1848 (print)

Научная статья
УДК 681.2
doi: 10.71536/sd.2025.2c31.10

РАЗРАБОТКА ФОТОЛИТИЧЕСКОЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Ольга Олеговна Ахмедова¹, Дмитрий Игоревич Спиридонов², Ольга Сергеевна
Атрашенко³, Татьяна Васильевна Копейкина⁴, Михаил Владимирович Панасенко⁵

^{1,2,3,4,5}Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического
университета, Волгоградская область, Камышин, Россия

¹Ahmedova-olga@mail.ru, ²Spiridonov.dinitrij.Ol@mail.ru, ³olgapasmenko@yandex.ru,

⁴kopeikina.tania@yandex.ru, ⁵panascnkcom@mail.ru

Аннотация. В статье произведен анализ статистических показателей, определяющих уровень загрязнений поверхностных вод: определены регионы с наибольшим количеством случаев высокого уровня загрязнения водных ресурсов, представлено распределение количества загрязнений по загрязняющим веществам. Основными причинами сложившейся ситуации является сброс в водоемы недоочищенной воды промышленными предприятиями, отсутствие возможности контролировать и очищать диффузные стоки и практически полное отсутствие очистных сооружений в сельских населенных пунктах. Для рационального использования водных ресурсов предлагается технология фотолитической очистки сточных вод бытовых потребителей для дальнейшего ее использования в системе ирригации. В результате обработки не образуются канцерогенные соединения, и установка полностью автоматически определяет необходимую дозу и время воздействия. Данная технология является не только ресурсосберегающей, но и позволит повысить показатели урожайности сельских угодий при поливе водой, обогащенной кислородом.

Ключевые слова: загрязнение поверхностных водоемов, очистка сточных вод, озонирование, повторное использование очищенных стоков, фотолитическое озонирование

Original article

DEVELOPMENT OF A PHOTOLYTIC RESOURCE-SAVING WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY FOR REUSE

Olga O. Ahmedova¹, Dmitry I. Spiridonov², Olga S. Atrashchenko³,
Tatyana V. Kopeikina⁴, Mikhail V. Panasenko⁵

^{1,2,3,4,5}Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volgograd Region,
Kamyshin, Russia

¹Ahmedova-olga@mail.ru, ²Spiridonov.dinitrij.Ol@mail.ru, ³olgapasmenko@yandex.ru, ⁴kopeikina.tania@yandex.ru, ⁵panascnkcom@mail.ru

Abstract. The article presents an analysis of statistical indicators that determine the level of surface water pollution. Areas with the highest number of cases of severe water contamination are identified. The distribution of pollution by pollutants is presented. The main causes of the current situation include the discharge of inadequately treated wastewater from industrial enterprises into water bodies, the inability to monitor and treat diffuse runoff, and the almost complete lack of wastewater treatment facilities in rural settlements.

For ensuring rational use of water resources, a photolytic wastewater treatment technology for domestic consumers enabling its further use in irrigation systems is proposed. As a result of the treatment process, no carcinogenic compounds are formed, and the system automatically determines the required dosage and exposure time. This technology is not only resource-saving but also contributes to increased crop yields in agricultural land when irrigated with oxygen-enriched water.

© Ахмедова О. О., Спиридонов Д. И., Атрашенко О. С., Копейкина Т. В., Панасенко М. В., 2025



Ахмедова
Ольга
Олеговна



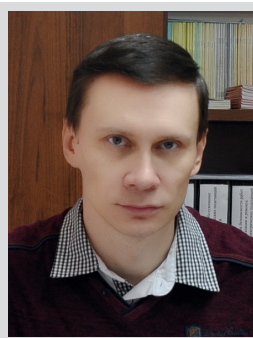
Спиридонов
Дмитрий
Игоревич



Атрашенко
Ольга
Сергеевна



Копейкина
Татьяна
Васильевна



Панасенко
Михаил
Владимирович

Keywords: surface water pollution, wastewater treatment, ozonation, reuse of treated wastewater, photolytic ozonation

ВВЕДЕНИЕ

Проблема качественного водоснабжения в последнее время вышла на первое место, т.к. доступность воды нормативных показателей во многом определяет социально-экономическое развитие страны. В производственной деятельности 98 % экономического сектора используют воду. Остро стоит проблема ограниченности ресурса, вследствие наличия всего 1 % пресной питьевой воды в мире. На сегодняшний день многие страны уже столкнулись нехваткой пригодных водных ресурсов, системы водоподготовки и водоотведения необходимо модернизировать, внедряя перспективные методы очистки и технологические схемы, позволяющие рационально использовать водные ресурсы и сохранять их качество.

1. Анализ текущей ситуации в области загрязнения водных объектов

Согласно данным Роспотребнадзора количество случаев экстремально высокого загрязнения водоемов в первом полугодии 2022 г. по сравнению с тем же периодом 2021 г. уменьшилось на 28 %, но на 15 % возросли случаи высокого загрязнения рек, озер и т.д., что наносит не менее серьезный вред экологии (рис. 1).

Максимальный процент экстремально высоких и высоких уровней загрязнений поверхностных вод из общего количества случаев был зафиксирован в Свердловской, Московской и Мурманской областях (рис. 2).

Источником загрязнений водоемов явились 24 вещества и фиксировались отклонения по пяти показателям качества воды (рис. 3). К прочим видам загрязнений от-

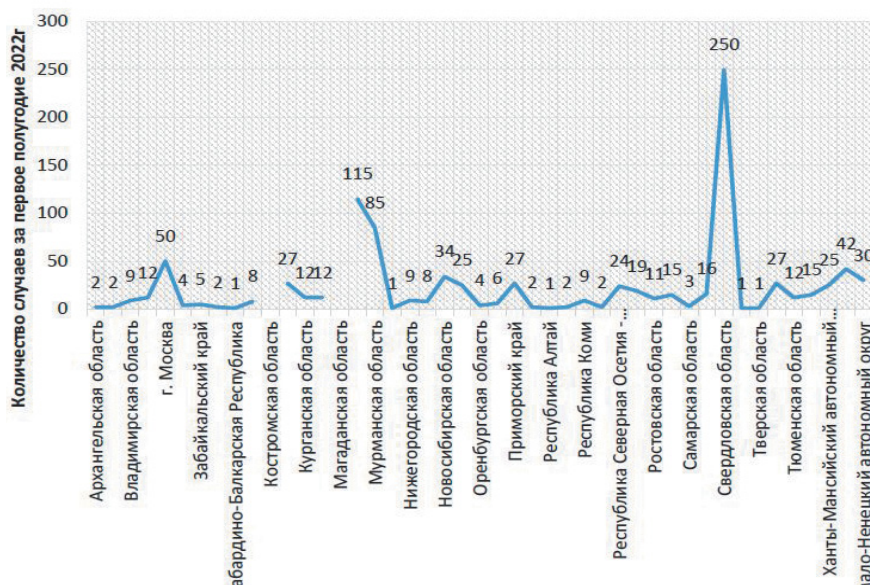


Рис. 1. Количество случаев высокого загрязнения водных объектов с января по июнь 2022 г.

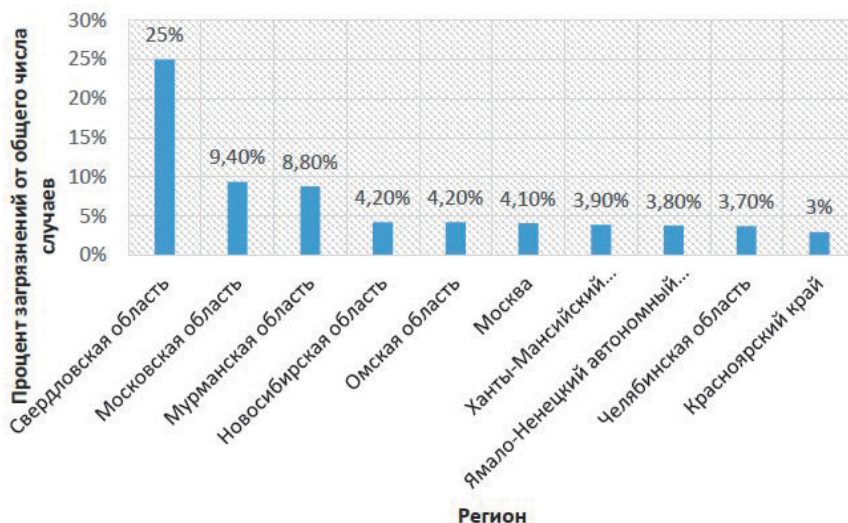


Рис. 2. Процент случаев загрязнения водоемов по областям

несены нефтепродукты, бензпирен, сульфаты, фосфаты, хлориды, фториды, фенолы, соединения молибдена, ртути, свинца, кадмия, мышьяка, натрия, шестивалентного хрома, трудноокисляемые органические вещества, дитиофосфат крезиловый, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), метанол, а также загрязнения, выявленные по органолептическим показателям [1-3].



Рис. 3. Распределение количества загрязнений поверхностных вод по загрязняющим веществам

2. Анализ причин сложившейся ситуации

Основной причиной значительного содержания загрязняющих веществ в пресных водоемах является сброс 88 % неочищенных до требуемого уровня сточных вод, жители сельской местности около 95 % не имеют подключения к центральной канализации с очистными сооружениями. Кроме того, остро стоит вопрос реконструкции существующих систем водоочистки, которые в силу значительного морального и физического износа не эффективно выполняют свои функции. Около 90 % станций водоочистки имеют изношенное оборудование.

К системе централизованного водоснабжения подключено примерно 2/3 населения страны, из которых 99 % удельного веса занимают города, 92 % поселки городского типа и 31 % – сельские населенные пункты. В сфере водоотведения удельный вес городов, имеющих канализацию, составляет 97 %, поселков городского типа – 80 %, сельских населенных пунктов – 5 %. В год в населенных пунктах разных типов образуется около 13,8 млрд. куб сточных вод, из них 89 % проходят через очистные сооружения, но только 45 % очищаются до требуемых норм качества. В Карачаево-Черкесской Республике, Чеченской Республике, Омской, Новгородской и Псковской областях этот показатель не превышает 2 %.

Потребление воды в год в Российской Федерации составляет 60 км³, половина идет на нужды промышленных предприятий, которые должны очищать свои сточные воды перед сбросом в водоем, 20% поступает к населению на хозяйственно-бытовые нужды, т.к. жители городов подключены к центральной системе канализации, то эти стоки так же должны проходить этапы очистки, 13 % воды потребляется сельскохозяйственной отраслью, 6 % относится к прочим расходам [3, 4].

В сельских поселениях проживает около 40 млн. человек, основным источником воды являются поверхностные воды. Исходя из экономической целесообразности, водоснабжение потребителей данной категории рационально осуществлять от существующих локальных очистных сооружений после их модернизации. Локальные системы водоснабжения и водоотведения обладают рядом преимуществ по сравнению с централизованными системами, такими как:

1) существует возможность контролировать и распределять потребление водных ресурсов на питьевые и технические цели, т.е. появляется возможность развести потоки по требуемым показателям качества очищенной воды;

2) отсутствует проблема повторного загрязнения питьевой воды, проходящей по длинным трубопроводам изношенной системы водоподачи;

3) появляется возможность повторного использования очищенной сточной воды в технических целях;

4) применение системы озонирования либо фотолитического озонирования в системе очистки сточных вод позволит при повторном ее использовании для полива повысить урожайность до 15 %.

3. Анализ существующих методов очистки сточных вод

В подавляющем большинстве на существующих крупных очистных станциях в качестве окислителя используют хлор-газ Cl₂, диоксид хлора ClO₂, гипохлорид натрия NaClO и гипохлорид кальция Ca(ClO)₂. Несмотря на высокую эффективность в отношении патогенных бактерий, хлорирование при дозе остаточного хлора 1,5 мг/л не обеспечивает необходимый эпидемиологической безопасности в отношении вирусов. Хлороорганические соединения, по данным многочисленных советских и зарубежных исследователей, по отношению к человеку обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью, способны аккумулироваться в донных отложениях, тканях гидробионтов и в конечном счете по трофическим путям попадать в организм человека. Эти соединения обладают высокой стойкостью к биодеструкции и вызывают загрязнение рек на значительных расстояниях вниз по течению.

Альтернативой хлорированию является озонирование сточных вод. Озон – активный окислитель, эффективное средство для очистки и обеззараживания, также он не образует опасных продуктов распада после взаимодействия в воде остается лишь кислород [6, 7]. Применение технологии озонирования позволяет устранять органические и неорганические загрязнения природного и антропогенного происхождения (фенолы, нефтепродукты, амины, пестициды, СПАВ) (рис. 4), может применяться для очистки цветных и высоко цветных вод от соединений железа, марганца, повышает эффективность обеззараживания воды по микробиологическим и паразитологическим показателям (рис. 5).

Для повышения эффективности озонирования можно использовать эффект синергии применения озона и ультрафиолетового излучения – фотолитическое озонирование. Данная технология позволяет производить очистку в течение нескольких секунд, за счет повышения окислительных свойств озона при ультрафиолетовом излучении на 50-70 % [8-10].

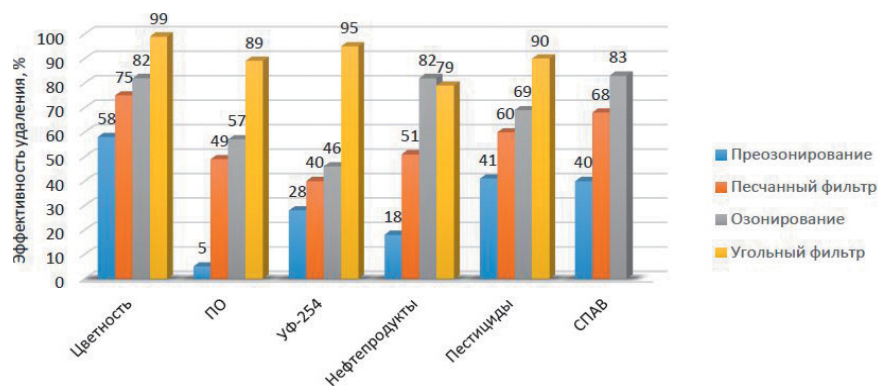


Рис. 4. Результативность процесса озонирования по химическим показателям

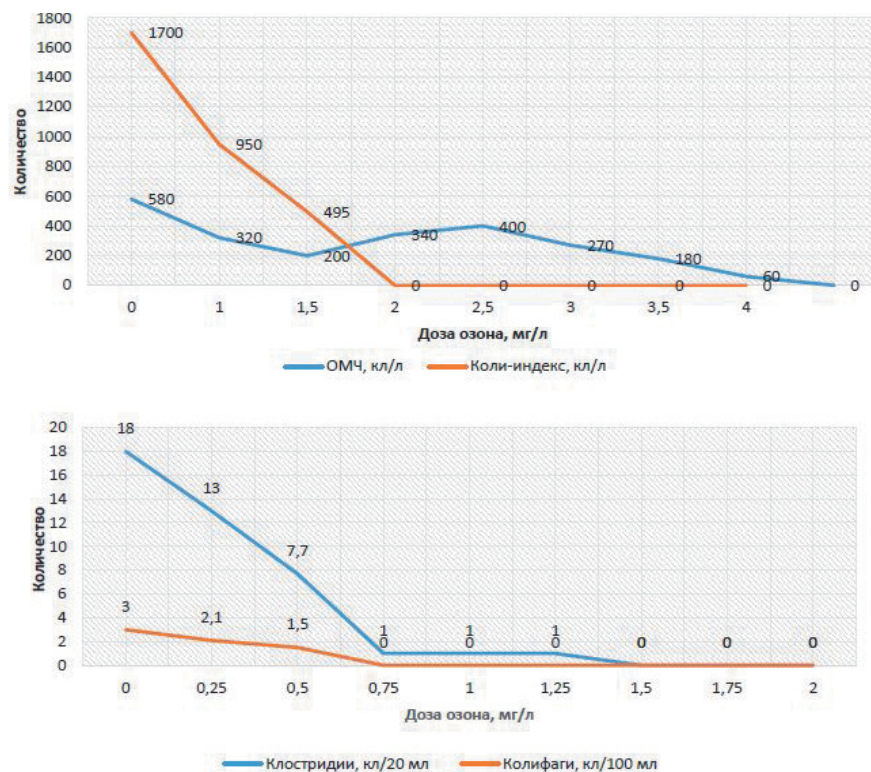


Рис. 5. Результативность озонирования по микробиологическим показателям

4. Разработка локальной фотолитической установки повторного использования сточных вод для ирригации

Современные методы очистки и обеззараживания сточных вод дают возможность бережно относиться к водным ресурсам и повторно использовать сточную воду, прошедшую фотолитическую обработку. Научно доказана эффективность полива озонированной водой. К основным преимуществам можно отнести:

- 1) увеличение урожайности культур за счет увеличения корневой массы растений;
- 2) увеличение дыхания и поступления питательных веществ за счет поступления воды, обогащенной кислородом;
- 3) уменьшение количества корневых патогенов;
- 4) ускорение созревания плодов и снижения нормы применения удобрений.

Как правило, жители сельской местности и владельцы фермерских хозяйств или сельхозугодий не устанавливают систему

озонирования воды из-за дополнительных капитальных затрат, но применение локальной установки позволит для полива применять уже использованную воду, обладающую лучшими физическими показателями по сравнению с получаемой из поверхностных источников.

В первичный резервуар локальной установки накопительного типа поступает сточная вода, затем при достижении определенного объема, вода поступает в фильтр грубой очистки для удаления крупных взвешенных частиц, процесс контролируется реле давления с манометром. На следующем этапе вода поступает в контактную емкость где происходит взаимодействие с озono-воздушной смесью, нагнетаемой от генератора озона, и облучение ультрафиолетом, позволяющим усилить эффект озонирования и воздействовать на патогенные микроорганизмы. Затем вода идет на фильтр с песком и угольный фильтр, на которых задерживается осадок, образованный в процессе окисления при фотолитическом озонировании. Полностью очищенная вода накапливается в резервуаре и по мере необходимости поступает в систему полива (рис. 6).

Установка является полностью автоматически управляемой, в зависимости от объема поступающей сточной воды в первый резервуар, программа рассчитывает дозу и время воздействия для достижения требуемых параметров качества воды на выходе. Кроме того, не требуется постоянного обслуживания, т.к. отсутствуют вещества, которые необходимо вносить в воду или контролировать остаточный их параметр. На рис. 7 представлена зависимость времени разложения озона от первоначально внесенной дозы, следовательно, через 25 мин. озон полностью разрушается и остается только насыщенная кислородом вода пригодная для ирригации [11, 12-17].

Система автоматического контроля подаваемого озона в контактную камеру позволит уменьшить потребление электроэнергии установкой, т. к. величина удельного потребления озона изменяется во времени в процессе окислительной реакции и представляет собой функцию $R_s=f(t)$. При постоянстве массового расхода подаваемого озона функция изменения его концентрации в выходящей газовой смеси

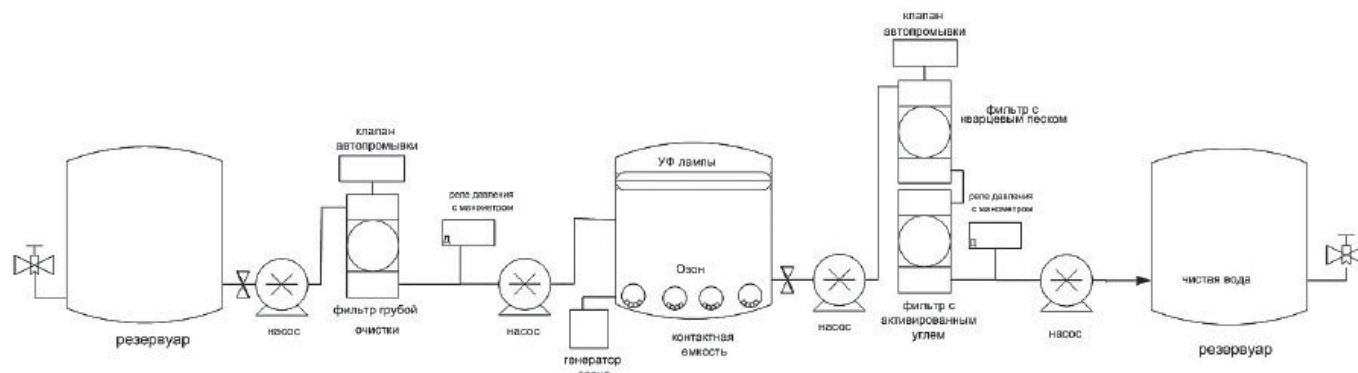


Рис. 6. Ресурсосберегающая локальная установка фотолитического озонирования

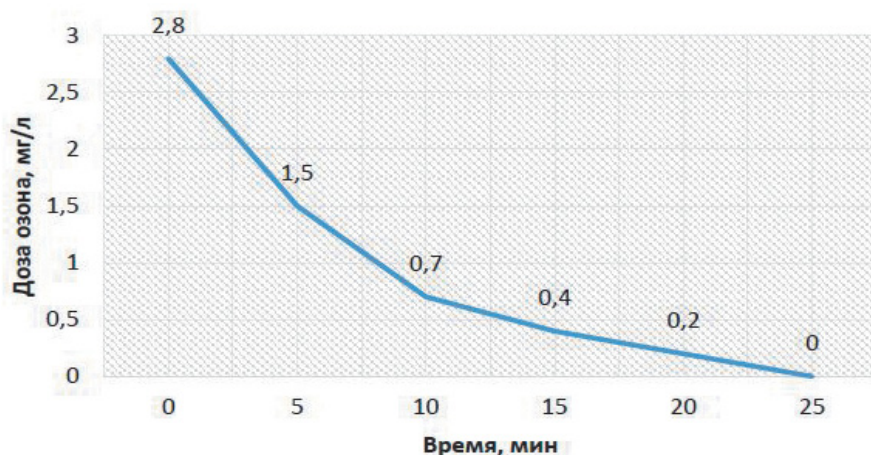


Рис. 7. Зависимость времени разложения озона от внесенной дозы

будет описываться кинетическим уравнением того же порядка, что и изменение концентрации окисляемого вещества.

Изменения концентрации озона на выходе из реактора можно записать уравнением, сходным по структуре с уравнением реакции первого порядка:

$$C_{Z_{ex}} = (C_{Z_{en}} - \Delta C_Z - C_{Z_s}) (1 - e^{-k_2 t}) + C_{Z_s}$$

где $C_{Z_{ex}}$ — концентрация озона в выходящем из реактора газе; $C_{Z_{en}}$ — концентрация озона в озono-воздушной смеси, подаваемой в реактор; ΔC_Z — снижение концентрации озона при саморазложении без участия в химических реакциях; C_{Z_s} — начальная концентрация озона в выходящем из реактора газе; k_2 — константа скорости реакции потребления озона; t — период процесса озонирования [12].

На рис. 8 представлено изменение концентрации озона на выходе из реактора в зависимости от периода, протекающего процесса.

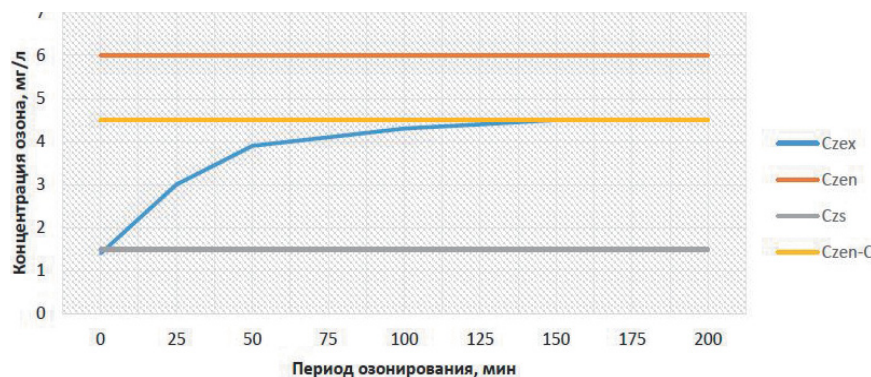


Рис. 8. Зависимость концентрации озона в выходящем из контактной камеры газе от периода озонирования

ВЫВОДЫ

Проблема природоохраны водных ресурсов с ростом промышленных предприятий вышла на первый план. Необходимо разрабатывать и внедрять ресурсосберегающие технологии повсеместно. Нормы показателей качества сбрасываемых сточных вод промышленными предприятиями регламентированы и контролируются государственными органами надзора. В сфере сельского хозяйства потребление водных ресурсов достигает 13 % и необходимо в этот сектор внедрить установки, помогающие уменьшить потребление чистой воды для технических целей путем повторного ее использования, и экономически выгодные для потребителей, позволяющие при первоначальных капитальных затратах в кратчайшие сроки получать выгоду не только от уменьшения затрат на оплату поливной воды, но и за счет увеличения урожайности с возделываемых земель. Применение локальной установки фотолитического озонирования отвечает предъявляемым требованиям, технология является полностью безопасной для использования потребителями, нет необходимости в постоянном контроле и обслуживании за счет автоматической системы контроля параметров и расчета оптимальной дозы вырабатываемого озона и ультрафиолетового излучения и времени воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана окружающей среды в России. 2022: Статистический сборник / Росстат. — Москва, 2022. — 113 с.
2. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
3. Абузярова, Г. А. Современные возможности экоаналитики в экологическом контроле и очистке воды от загрязнений / Г. А. Абузярова // Естественные и технические науки. — 2014. — № 2(70). — С. 72–76.
4. Краснопецева, И. В. Экономическая выгода и экологическая проблема / И. В. Краснопецева, Е. А. Краснопецева, Л. Н. Козина // Вестник НГИЭИ. — 2014. — № 12(43). — С. 42–48.
5. Научные основы повышения качества воды и экологической безопасности систем водоснабжения сельских поселений [Электронный ресурс]. — Электронная статья. — Режим доступа: <http://www.dslib.net/geoekologia/nauchnye-osnovy-povysheniya-kachestva-vody-i-jekologicheskoy-bezopasnosti-sistem.html> (дата обращения: 04.05.2025).
6. Филиппов, Ю. В. Электросинтез озона / Ю. В. Филиппов, В. А. Вобликова, В. И. Пантелеев. — М.: Издательство Московского университета, 2008. — 237 с.
7. Агалакова, Л. М. Система регулирования концентрации озона / Л. М. Агалакова, В. И. Пантелеев // Материалы VI украинско-российской научно-практической конференции и V азиатско-европейской научно-практической конференции «Озон в биологии и медицине». — Одесса, 3–5 мая 2012 г.
8. Bertagna Silva D. Performance and kinetic modelling of photolytic and photocatalytic ozonation for enhanced micropollutants removal in municipal wastewaters / D. Bertagna Silva, A. Cruz-Alcalde, S. Esplugas // *Applied Catalysis B: Environmental*. — 2019. — Vol. 249. — P. 211–217.
9. Marce M. Ozonation treatment of urban primary and biotreated wastewaters: Impacts and modeling / M. Marce, B. Domenjoud, S. Esplugas, S. Baig // *Chemical Engineering Journal*. — 2016. — Vol. 283. — P. 768–777.
10. Cruz-Alcalde A. Abatement of ozone-recalcitrant micropollutants during municipal wastewater ozonation: Kinetic modelling and surrogate-based control strategies / A. Cruz-Alcalde, S. Esplugas, C. Sans // *Chemical Engineering Journal*. — 2019. — Vol. 360. — P. 1092–1100.
11. Moreira N.F. Photocatalytic ozonation of urban wastewater and surface water using immobilized TiO₂ with LEDs: Micropollutants, antibiotic resistance genes and estrogenic activity / N.F. Moreira, J.M. Sousa, G. Macedo [и др.] // *Water Research*. — 2016. — Vol. 94. — P. 10–22.
12. Emam E.A.T. Effect of ozonation combined with heterogeneous catalysts and ultraviolet radiation on recycling of gas-station wastewater / E.A. Emam // *Egyptian Journal of Petroleum*. — 2012. — Vol. 21. — P. 55–60.
13. Snyder E.G. The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring / E.G. Snyder, T.H. Watkins, P.A. Solomon, E.D. Thoma, R.W. Williams, G.S.W. Hagler, D. Shelow, D.A. Hindin, V.J. Kilaru, P.W. Preuss // *Environmental Science & Technology*. — 2013. — Vol. 47. — P. 11369–11377. — DOI: 10.1021/es4022602.
14. Водоснабжение сельскохозяйственное [Электронный ресурс]. — Электронная статья. — Режим доступа: <http://ru-ecology.info/term/67700/> (дата обращения: 04.05.2025).
15. Кондакова, Н. В. Оценка объектов окружающей среды под влиянием техногенной нагрузки перекрытых канализационных очистных сооружений / Н. В. Кондакова, Л. Н. Фесенко // *Строитель Донбасса*. — 2025. — Выпуск 1–2025. — С. 50–56. — ISSN 2617-1848.
16. Гулько, С. Е. Пути снижения воздействия на окружающую среду отходов ТЭС (на Донбассе) / С. Е. Гулько, Н. Г. Насонкина, Д. Г. Соколов [и др.] // *Строитель Донбасса*. — 2024. — Выпуск 1–2024. — С. 15–21. — ISSN 2617-1848.
17. Мовчан, С. И. Использование реагентов в технологии обработки сточных вод гальванического производства / С. И. Мовчан // *Строитель Донбасса*. — 2024. — Выпуск 1–2024. — С. 22–29. — ISSN 2617-1848.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ахмедова Ольга Олеговна — кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», декан факультета «Высшее образование» Камышинского технологического института Волгоградского государственного технического университета, Волгоградская область, Камышин, Россия. Научные интересы: повышения эффективности природоохранных систем; совершенствования технологий водоочистки; исследования процесса озонирования воздушных сред.

Спиридонов Дмитрий Игоревич — преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», факультет «Высшее образование» Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия. Научные интересы: физика плазмы; техника высоких напряжений.

Атрашенко Ольга Сергеевна — старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», факультет «Высшее образование» Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия. Научные интересы: инновационные технологии диагностики технического состояния электрооборудования; физические процессы в газах и жидких средах.

Копейкина Татьяна Васильевна — старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», факультет «Высшее образование» Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия. Научные интересы: диагностика электрооборудования; электрофизические способы очистки сточных вод.

Панасенко Михаил Владимирович — старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», факультет «Высшее образование» Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия. Научные интересы: диагностика электрооборудования; электрофизические способы очистки сточных вод.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Akhmedova Olga O. — Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Power Supply of Industrial Enterprises, Dean of the Faculty of Higher Education of the Kamyshinsky Technological Institute, Volgograd State Technical University, Volgograd Region, Kamyshin, Russia. Scientific interests: increasing the efficiency of environmental protection systems; improving water purification technologies; research of ozone air treatment processes.

Spiridonov Dmitry I. — Lecturer at the Department of Power Supply of Industrial Enterprises, Faculty of Higher Education of the Kamyshinsky Technological Institute, Volgograd State Technical University, Volgograd Region, Kamyshin, Russia. Scientific interests: plasma physics; high voltage engineering.

Atrashchenko Olga S. — Senior Lecturer at the Department of Power Supply of Industrial Enterprises, Faculty of Higher Education of the Kamyshinsky Technological Institute, Volgograd State Technical University, Volgograd Region, Kamyshin, Russia. Scientific interests: innovative technologies for diagnosing the technical condition of electrical equipment; physical processes in gases and liquid media.

Kopeikina Tatyana V. — Senior Lecturer at the Department of Power Supply of Industrial Enterprises, Faculty of Higher Education of the Kamyshinsky Technological Institute, Volgograd State Technical University, Volgograd Region, Kamyshin, Russia. Scientific interests: diagnostics of electrical equipment; electro-physical methods of wastewater treatment.

Panasenko Mikhail V. — Senior Lecturer at the Department of Power Supply of Industrial Enterprises, Faculty of Higher Education of the Kamyshinsky Technological Institute, Volgograd State Technical University, Volgograd Region, Kamyshin, Russia. Scientific interests: diagnostics of electrical equipment; electro-physical methods of wastewater treatment.

REFERENCES

1. Abuzyarova, G.A., 2014. Modern capabilities of ecoanalytics in environmental control and water purification from pollution. *Natural and Technical Sciences*, (2(70)), pp. 72–76.
2. Agalakova, L.M. and Pantelev, V.I., 2012. Regulation system for ozone concentration. In: *Proceedings of the VI Ukrainian-Russian Scientific-Practical Conference and V Asia-European Scientific-Practical Conference "Ozone in Biology and Medicine"*, Odessa, 3–5 May 2012.
3. Bertagna Silva, D., Cruz-Alcalde, A. and Esplugas, S., 2019. Performance and kinetic modelling of photolytic and photocatalytic ozonation for enhanced micropollutants removal in municipal wastewaters. *Applied Catalysis B: Environmental*, 249, pp. 211–217.
4. Central Statistical Office of Russia (Rosstat), 2022. *Environmental Protection in Russia 2022: Statistical Collection*. Moscow: Rosstat Publishing. 113 pp.
5. Cruz-Alcalde, A., Esplugas, S. and Sans, C., 2019. Abatement of ozone-recalcitrant micropollutants during municipal wastewater ozonation: Kinetic modelling and surrogate-based control strategies. *Chemical Engineering Journal*, 360, pp. 1092–1100.
6. Egyptian Ministry of Petroleum, 2012. Emam E.A.T. Effect of ozonation combined with heterogeneous catalysts and ultraviolet radiation on recycling of gas-station wastewater. *Egyptian Journal of Petroleum*, 21, pp. 55–60.
7. *Environmental protection in Russia, 2022* [Online]. Moscow: Rosstat. Available at: <http://www.dslib.net/geoekologia/nauchnye-osnovy-povysheniya-kachestva-vody-i-jeologicheskoy-bezopasnosti-sistem.html> (Accessed: 04 May 2025).
8. Fesenko, N.V. and Kondakova, N.V., 2025. Assessment of environmental objects under the influence of technogenic load of covered sewage treatment plants. *The Builder of Donbass*, (1–2025), pp. 50–56. ISSN 2617-1848.
9. Filippov, Y.V., Voblikova, V.A. and Pantelev, V.I., 2008. *Electrosynthesis of Ozone*. Moscow: Moscow University Press. 237 pp.
10. Gulko, S.E., Nasonkina, N.G. and Sokolov, D.G., 2024. Ways to reduce the environmental impact of thermal power plant waste in the Donbas region. *The Builder of Donbass*, (1–2024), pp. 15–21. ISSN 2617-1848.
11. Krasnopevtseva, I.V., Krasnopevtseva, E.A. and Kozina, L.N., 2014. Economic benefit and ecological problem. *Vestnik NGIEI*, (12(43)), pp. 42–48.
12. Marce, M., Domenjoud, B., Esplugas, S. and Baig, S., 2016. Ozonation treatment of urban primary and biotreated wastewaters: Impacts and modeling. *Chemical Engineering Journal*, 283, pp. 768–777.
13. Ministry of Health of the Russian Federation, 2001. SanPiN 2.1.4.1074–01: Drinking Water. Hygienic Requirements to the Quality of Water in Centralized Drinking Water Supply Systems. *Control of Quality*.
14. Movchan, S.I., 2024. Use of reagents in the technology of treating galvanic production wastewater. *The Builder of Donbass*, (1–2024), pp. 22–29. ISSN 2617-1848.
15. Moreira, N.F., Sousa, J.M., Macedo, G. et al., 2016. Photocatalytic ozonation of urban wastewater and surface water using immobilized TiO₂ with LEDs: Micropollutants, antibiotic resistance genes and estrogenic activity. *Water Research*, 94, pp. 10–22.
16. Snyder, E.G., Watkins, T.H., Solomon, P.A., Thoma, E.D., Williams, R.W., Hagler, G.S.W., Shelow, D., Hindin, D.A., Kilaru, V.J. and Preuss, P.W., 2013. The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environmental Science & Technology*, 47(20), pp. 11369–11377. DOI: 10.1021/es4022602.
17. Agricultural water supply [Online] n.d. Available at: <http://ru-ecology.info/term/67700/> (Accessed: 04 May 2025).

Статья поступила в редакцию 06.05.2025; одобрена после рецензирования 16.05.2025; принята к публикации 23.05.2025.

The article was submitted 06.05.2025; approved after reviewing 16.05.2025; accepted for publication 23.05.2025.