

Оригинальная статья

УДК 556.314

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-447-457>

ОЦЕНКА БАКТЕРИАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СИСТЕМ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Н. В. Веденеева ^{1✉}, Е. В. Скиданов ², Ю. А. Матвеев ¹

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.

Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77

ООО НПП «ЛИССКОН»

Россия, 410071, г. Саратов, ул. Шелковичная, д. 186

Поступила в редакцию 14.06.2021 г., после доработки 15.08.2021 г., принята 17.08.2021 г.

Аннотация. Данная работа посвящена оценке бактериального загрязнения систем водоотведения гальванического производства. В процессе исследования из проб воды и промывного осадка, отобранных в системе технического водоснабжения предприятия, были выделены и идентифицированы два штамма микроорганизмов, вызывающих микробное загрязнение и приводящих к снижению эффективности работы технологического оборудования. Изучение морфологических и культуральных свойств выделенных штаммов бактерий позволило отнести их к роду *Bacillus*. В результате метагеномного анализа состава микробных сообществ по гену 16S рПНК (вариабельных участков 16S rDNA) по базе данных GenBank на автоматическом секвенаторе ABI Prism 3730 установлена гомология первого штамма с типовыми штаммами подгруппы *B. velezensis* и *B. amyloliquefaciens* в пределах 99,4 – 99,9%. При идентификации второго выделенного штамма результаты гомологии с *B. altitudinis* составили 99,7%. Изучение свойств выделенных штаммов показало, что они не являются патогенными и токсигенными. Для снижения микробной загрузки в системе технического водоснабжения провели серию экспериментов по подбору биоцида. Исследовали несколько вариантов дезинфектантов разных групп: окисляющие (хлорамин (хлорпроизводное аммиака), перекись водорода) и неокисляющие (полимерные производные полигексаметиленгуанидина (ПГМГ) производства АО «НПК Медиана-фильтр» и полиазолидинаммоний-ионогидрата (ПААГ-М) производства ООО «Константа»). Установлено, что полимерные соединения обладали большей эффективностью по сравнению с дезинфектантами на основе хлора. Водный раствор полигексаметиленгуанидина обладал лучшим бактерицидным действием на микроорганизмы, поэтому был рекомендован для борьбы со сложившимся бактериальным загрязнением.

Ключевые слова: производственные сточные воды, бактериальное загрязнение, биообращение, биоциды, дезинфектанты

Для цитирования. Веденеева Н. В., Скиданов Е. В., Матвеев Ю. А. Оценка бактериального загрязнения систем замкнутого водоснабжения гальванических производств // Поволжский экологический журнал. 2021. № 4. С. 447 – 457. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-447-457>

✉ Для корреспонденции. Кафедра «Экология и техносферная безопасность» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А.

ORCID и e-mail адреса: Веденеева Наталия Владимировна: <https://orcid.org/0000-0002-0383-3820>, vedeneevanv@sstu.ru; Скиданов Евгений Викторович: mail@lisskon.ru; Матвеев Юрий Александрович: ecology@sstu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно увеличивающиеся масштабы использования водных ресурсов неминуемо приводят к их сокращению. Особенно остро стоит проблема с загрязнением поверхностных вод недоочищенными стоками, поступающими от предприятий. В связи с этим в последнее десятилетие стала активно развиваться концепция экономики замкнутого цикла с бережливым отношением к окружающей среде и природным ресурсам, включающая в себя, в том числе, использование оборотной системы водоснабжения. Совершенствование технологий водоподготовки позволяет качественно очищать сточные воды, допуская повторно использовать их в производственном процессе. Однако зачастую в подобных системах водоснабжения возникает проблема вторичного бактериального загрязнения. Бактериальное загрязнение возникает преимущественно в результате процессов биообращения на внутренних поверхностях технологического оборудования: труб, насосов, ёмкостей, приводя к биокоррозии (забиванию труб продуктами коррозии и биомассой микроорганизмов). Повышенный уровень микрофлоры препятствует нормальной работе оборудования, приводит к проблемам в эксплуатации и наносит существенный вред производственному процессу, так как значительно снижается пропускная способность трубопроводов, возрастают затраты энергии на перекачку воды (Глинская и др., 2019).

На сегодняшний день существует несколько способов снижения микробной контаминации в системах технологического водоснабжения. В первую очередь, применяется хлорирование, озонирование, а также обработка неокисляющими дезинфектантами (ПАВы, соли четвертичных аммониевых оснований и т.д.). Однако успешному подбору дезинфектанта предшествует оценка видового состава и степени бактериального загрязнения.

Проблема микробного загрязнения технологического оборудования систем водоснабжения достаточно часто упоминается в научной литературе (Казимиров Е. К., Казимиров О. Е., 2012; Гончарова, Василенко, 2016; Шонина, 2017; Зибарев и др., 2021), однако для гальванических производств данная проблема является относительно новой. Это связано с тем, что гальванические сточные воды содержат тяжелые металлы, в том числе соединения хрома (VI), в редких случаях кадмий и свинец. Кроме того, подобные стоки содержат концентрированные кислоты и щёлочи, иногда цианистые соединения, так как некоторые производства продолжают использовать устоявшиеся технологические процессы (Виноградов, 1998; Гогина и др., 2012; Павлов, Колесников, 2012). Поэтому развитие бактериальной флоры в системах очистки воды, содержащих такие агрессивные вещества, достаточно редкое явление.

В процессе исследования ставилась цель по установлению численности и идентификации микроорганизмов, способствующих возникновению бактериального загрязнения в системе технического и оборотного водоснабжения гальванического производства, для дальнейшего подбора наиболее подходящего дезинфектанта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись отобранные пробы сточной технологической воды и промывного осадка с внутренних поверхностей технологического оборудования гальванического производства (г. Саратов).

Отбор проб для исследований осуществляли в соответствии с ГОСТ 31942-2012 с использованием стерильной лабораторной посуды. Отобранные пробы высевали на ГРМ-агар и инкубировали при 28°C в течение 7 дней (Лысак и др., 2015).

Для получения чистых культур микроорганизмов использовали метод последовательных разведений до титра 10^{-4} . Посевы инкубировали при температуре 28°C в течение 24 – 48 ч. После чего проводили количественный учет выросших колоний (Практикум по микробиологии, 2005).

Диагностику выделенных штаммов клеточной стенки осуществляли методом Грама. Морфологические и культуральные признаки изучали как на первичных посевах, так и на полученных чистых культурах. Видовую принадлежность бактерий определяли с помощью «Определителя бактерий Берджи» (1997).

При изучении биохимической активности определяли наличие у выделенных штаммов каталазы и оксидазы, способность использовать различные сахара (глюкозу, сахарозу, лактозу, ксилозу, арабинозу, маннозу, сорбит, фруктозу), манит, цитрат натрия, способность к гидролизу крахмала, желатины, казеина, продукции ацетона, способность к азотфиксации, ассимиляционной и диссимиляционной нитратредукции (Практикум по микробиологии, 2005).

Видовую принадлежность выявленных штаммов подтверждали путем проведения метагеномного анализа состава микробных сообществ по гену 16S рРНК на платформе MiSeq. Молекулярные исследования проводили на базе Междисциплинарного центра протеомных исследований Казанского федерального университета.

При подборе дезинфектанта против сложившегося бактериального загрязнения проводили сравнительный анализ эффективности разных групп биоцидов: окисляющие (хлорамин (хлорпроизводное аммиака), перекись водорода) и неокисляющие (полимерные производные полигексаметиленгуанидина (ПГМГ) производства АО «НПК Медиана-фильтр» и полиазолидинаммоний-ионогидрата (ПААГ-М) производства ООО «Константа»). Все исследуемые дезинфектанты анализировали в следующих концентрациях:

- раствор хлорамина: 3, 1.5, 0.75%
- перекись водорода: 30, 15, 7.5, 3, 1, 0.5%
- полигексаметиленгуанидин (ПГМГ): 100, 50, 25, 12.5, 6, 3, 1, 0.5%.
- полиазолидинаммоний ионогидрат (ПААГ-М) 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625%.

Оценку дезинфицирующих свойств биоцидов осуществляли дискодиффузионным методом. Бумажные диски пропитывали разными концентрациями каждого реагента, далее выкладывали на чашки Петри с питательной средой, засеянные культурой микроорганизмов, выделенной из осадка сточных вод. Степень биоцидного действия учитывают по размеру зоны подавления роста (Лавренчук, Ермошин, 2019).

При подготовке серий разведений исходили из товарной концентрации дезинфектантов, в связи с этим менялось количество разведений исследуемых веществ.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли методами вариационной статистики с определением средних арифметических величин (M) и средней ошибки средней арифметической (m) по формуле Петерса с использованием константы Молденгауэра. Для сравнения эффективности разных групп биопцидов для обеззараживания использовали двусторонний t -критерий Стьюдента. Статистические результаты считались достоверными при $p \leq 0.05$ (Халафян, 2007).

Подготовительную обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.), статистические расчеты выполнены с использованием пакета прикладных программ STATISTICA 6.0 (Statsoft Inc., OK, USA) и Statgraph (Version 2.6; Coulter).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При первоначальном высеве проб сточной технологической воды и проб промывного осадка на ГРМ-агаре на 4-е сутки отмечен плотный бактериальный рост. Далее выделяли изолированные колонии микроорганизмов с последующим формированием колоний доминирующего морфотипа. Таким образом, было выделено 2 бактериальных штамма, представляющие собой одиночные подвижные клетки бациллярной формы размером $(4.0 - 5.5) \times (0.6 - 0.8)$ мкм, которые к 48 ч культивирования в жидкой питательной среде образовывали большие скопления. Морфологические и культуральные свойства выделенных штаммов представлены в таблице.

Морфологические и культуральные признаки выделенных бактерий

Table. Morphological and cultural signs of the isolated bacteria

Тест / Test	Штамм № 1 / Strain No. 1	Штамм № 2 / Strain No. 2
Окраска по Граму / Gram coloring	Грамположительные / Gram-positive	Грамположительные / Gram-positive
Морфология / Morphology	Палочки / Bacillus	Палочки / Bacillus
Культуральные признаки / Cultural signs	Колонии среднего размера, круглые, гладкие, молочного цвета, ровный край / Colonies are medium-sized, round, smooth, milky-colored, smooth-edged	Колонии среднего размера, круглые, гладкие / Colonies are medium-sized, round, smooth

Исследуемые штаммы являлись грамположительными аэробами. Оптимальный рост отмечен при температуре $35 - 37^\circ\text{C}$ и pH $7.0 - 7.2$. В качестве единственного источника углерода усваивали глюкозу, фруктозу, маннозу, сахарозу, галактозу и растворимый крахмал. Культуры обладали каталазной активностью, были способны к кислотообразованию, разжижали желатину. В соответствии с вышеперечисленными морфологическими, культуральными и физиолого-биохимическими признаками изоляты отнесены к роду *Bacillus*.

В результате проведения секвенирования были определены нуклеотидные последовательности генов 16S рРНК исследуемого изолята, что было достаточно для проведения идентификации и филогенетического анализа. Родовая идентификация

нуклеотидных последовательностей 16S рДНК совпала с идентификацией на основании фенотипических признаков *Bacillus subtilis*. В результате сегментирования установлено, что гомология с типовыми штаммами подгруппы *B. velezensis* и *B. amyloliquefaciens* варьировала в пределах 99.4 – 99.9%.

Bacillus velezensis – аэробная, грамположительная, формирующая эндоспоры свободноживущая почвенная бактерия, выделенная в 1998 г. и секвенированная в 2007 г. Перспективна для разработки биопестицидов, способных подавлять развитие широкого спектра патогенов растений, в том числе бактерий, грибов и нематод, также стимулирования индуцированной системной резистентности (ISR) растений (Chen et al., 2007; Fan et al., 2018).

Bacillus amyloliquefaciens – это вид бактерии рода *Bacillus*, который является источником фермента рестриктазы. Он также синтезирует природный антибиотик протеин, рибонуклеазу, которая образует комплекс со своим внутриклеточным ингибитором барстаром, и плантазолин – антибиотик с селективной активностью против *Bacillus anthracis*. Кроме этого используется в сельском хозяйстве, аквакультуре и гидропонике для борьбы с корневыми патогенами, такими как *Ralstonia solanacearum*, *Pythium*, *Rhizoctonia solani*, *Alternaria tenuissima* и *Fusarium*, улучшают устойчивость корней к солевому стрессу (Huang et al., 2014; Tan et al., 2016). Они считаются ризобактериями, способствующими росту, и обладают способностью быстро колонизировать корни.

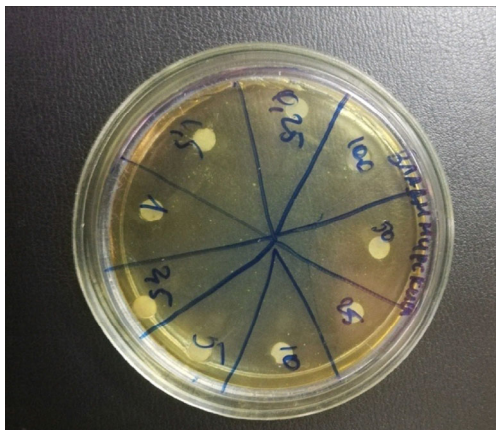
Таким образом, изучение научных трудов, посвященных оценке свойств штаммов бактерий *B. amyloliquefaciens* и *B. velezensis*, показало, что они не являются патогенными и токсигенными.

При идентификации второго выделенного штамма результаты гомологии с *Bacillus altitudinis* составили 99.7%. *B. altitudinis* – это грамположительные палочковидные аэробные бактерии, относящиеся к типу Firmicutes. Впервые штамм был выделен из криогенных пробирок, используемых для отбора проб воздуха с большой высоты, подвергнутых экстремальному ультрафиолетовому излучению, собранных в стратосфере – отсюда и его название. Штамм был зарегистрирован в различных местообитаниях, включая южную часть Индийского океана, глубокие пресные воды оз. Манасбал, почву и ил. Способность к спорообразованию является потенциальным механизмом распространения и выживания *B. altitudinis* в экстремальных условиях (Shivaji et al., 2006; Mao et al., 2013).

На следующем этапе исследований был проведен сравнительный анализ эффективности разных групп биоцидов для обеззараживания и удаления биологической составляющей из сточных вод диско-диффузионным методом.

При исследовании бактерицидных свойств биоцидов на основе хлора получены следующие данные. Диоксид хлора обладал наименьшей бактерицидной активностью, так как на чашке возле всех дисков с разными концентрациями препарата отсутствовали зоны подавления роста микроорганизмов.

Раствор хлорамина-Б обладал антимикробной активностью в концентрациях 30, 15, 7.5 и 3%. Зона подавления роста 30%-ной концентрации раствора составляла в среднем 636 мм, 15%-ного раствора – 15 мм, 7.5%-ного раствора – 27 мм, 3%-ная концентрация подавляла бактериальный рост в пределах 2 мм.



Антимикробная активность раствора ПГМГ
Figure. Antimicrobial activity of solutions of PHMG (polyhexamethylene guanidine)

давлял рост микроорганизмов в концентрации от 10 до 1.25%. 0.625%-ная концентрация биоцидными свойствами не обладала.

Все анализируемые концентрации раствора полигексаметиленгуанидина (ПГМГ) полностью подавляли антибактериальный рост на чашках (рисунок). Наличие бактериальной пленки на поверхности чашки не наблюдалось.

Таким образом, можно сделать вывод, что производные полигексаметиленгуанидина обладают самым эффективным бактерицидным действием по сравнению с остальными исследованными препаратами и могут быть рекомендованы в качестве средства для борьбы со сложившимся бактериальным загрязнением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе исследования установлено, что в системе оборотного водоснабжения образуется бактериальное загрязнение. Было выделено 2 штамма микроорганизмов, по морфологическому строению и биохимическим свойствам отнесенные к роду *Bacillus*.

В результате идентификации с помощью молекулярно-филогенетического подхода, основанного на гомологии гена 16S рРНК, установлена гомология первого штамма с типовыми штаммами подгруппы *B. velezensis* и *B. amyloliquefaciens* в пределах 99.4 – 99.9%. Изучение свойств выделенных штаммов показало, что они не являются патогенными и токсигенными. При идентификации второго выделенного штамма результаты гомологии с *Bacillus altitudinis* составили 99.7%.

При подборе биоцида для снижения микробной загрузки установлено, что полимерные соединения обладали большей эффективностью по сравнению с производными хлора. Водный раствор полигексаметиленгуанидина обладал наибольшим

Перекись водорода оказалась эффективной только в 30%-ной концентрации (зона подавления роста составила 6.7 см) и 15%-ной (зона подавления роста – 4.2 см). 7.5%-ная концентрация перекиси обладала бактериостатическим эффектом, так как зона подавления бактериального роста отмечена только на одной стороне диска. Остальные концентрации не обладали дезинфицирующим эффектом. Таким образом, перекись водорода признана неэффективным средством в борьбе со сложившимся бактериальным загрязнением.

При исследовании антибактериальных свойств полимерных биоцидов установлено, что ПААГ-М подавлял

бактерицидным действием по сравнению с остальными исследованными препаратами, поэтому рекомендован в качестве средства для борьбы со сложившимся бактериальным загрязнением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградов. С. С. Экологически безопасное гальваническое производство. М. : Глобус, 1998. 302 с.
- Глинская Е. В., Савельева А. С., Воронин М. Ю. Бактериообрастания в системе технического водоснабжения Нововоронежской атомной электростанции // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, № 4. С. 481 – 484. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-4-481-484>
- Гогина Е. С., Гуринович А. Д., Урецкий Е. А. Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения : справочное пособие. М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2012. 312 с.
- Гончарова Е. Н., Василенко М. И. Биообрастание гидротехнических сооружений // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды : сборник докладов II Международной научно-технической конференции. Белгород : Изд-во Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, 2016. С. 8 – 12.
- Зибарев Н. В., Политаева Н. А., Андрианова М. Ю. Использование микроводорослей *Chlorella sorokiniana* (Chlorellaceae, Chlorellales) для очистки сточных вод пивоваренной промышленности // Поволжский экологический журнал. 2021. № 3. С. 262 – 271. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-262-271>
- Казимиров Е. К., Казимиров О. Е. Комплексные решения проблемы накипеобразования, коррозии и биообрастания в системах оборотного водоснабжения // Химическая техника. 2012. № 4. С. 6.
- Лавренчук Л. С., Ермошин А. А. Микробиология : практикум. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2019. 107 с.
- Лысак В. В., Желдакова Р. А., Фомина О. В. Микробиология. Практикум : учебное пособие. Минск : Белорусский государственный университет, 2015. 115 с.
- Определитель бактерий Берджи : в 2 т. / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямса. М. : Мир, 1997. 1250 с.
- Павлов Д. В., Колесников В. А. Очистка сточных вод гальванического производства : новые решения // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 6. С. 66 – 69.
- Практикум по микробиологии : учебное пособие / под ред. А. И. Нетрусов. М. : Академия, 2005. 608 с.
- Халафян А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных : учебное пособие. М. : Бинном-Пресс, 2007. 512 с.
- Шонина Н. А. Борьба с биообрастанием в системах ГВС // Сантехника. 2017. Т. 5, № 5. С. 56 – 59.
- Chen X., Koumoutsis A., Scholz R., Eisenreich A., Schneider K., Heinemeyer I., Morgenstern B., Voss B., Hess W. R., Reva O., Junge H., Voigt B., Jungblut P. R., Vater J., Süßmuth R., Liesegang H., Strittmatter A., Gottschalk G., Borriss R. Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth-promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 // Nature Biotechnology. 2007. Vol. 25, iss. 9. P. 1007 – 1014. <https://doi.org/10.1038/nbt1325>
- Fan B., Wang C., Song X., Ding X., Wu L., Wu H., Gao X., Borriss R. *Bacillus velezensis* FZB42 in 2018 : The gram-positive model strain for plant growth promotion and biocontrol // Frontiers in Microbiology. 2018. Vol. 9. Article number 2491. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02491>

Huang J., Wei Z., Tan S., Mei X., Shen Q., Xu Y. Suppression of bacterial wilt of tomato by bioorganic fertilizer made from the antibacterial compound producing strain *Bacillus amyloliquefaciens* HR62 // J. of Agricultural and Food Chemistry. 2014. Vol. 62, iss. 44. P. 10708 – 10716. <https://doi.org/10.1021/jf503136a>

Mao S., Lu Z., Zhang C., Lu F., Bie X. Purification, characterization, and heterologous expression of a thermostable β -1,3-1,4-glucanase from *Bacillus altitudinis* YC-9 // Applied Biochemistry Biotechnology. 2013. Vol. 169, iss. 3. P. 960 – 975. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-0064-3>

Shivaji S., Chaturvedi P., Suresh K., Reddy G. S. N., Dutt C. B. S., Wainwright M., Narlikar J. V., Bhargava P. M. *Bacillus aerius* sp. nov., *Bacillus aerophilus* sp. nov., *Bacillus stratosphericus* sp. nov. and *Bacillus altitudinis* sp. nov., isolated from cryogenic tubes used for collecting air samples from high altitudes // International J. of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2006. Vol. 56, iss. 7. P. 1465 – 1473. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64029-0>

Tan S., Gu Y., Yang C., Dong Y., Mei X., Shen Q., Xu Y. *Bacillus amyloliquefaciens* T-5 may prevent *Ralstonia solanacearum* infection through competitive exclusion // Biology Fertility Soils. 2016. Vol. 52, iss. 3. P. 341 – 351. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1079-z>

Assessment of bacterial pollution of closed water supply systems of galvanized productions

N. V. Vedeneeva ^{1✉}, E. V. Skidanov ², Yu. A. Matveev ¹

¹ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
77 Politekhnikeskaya St., Saratov 410054, Russia

² Research and Production Enterprise "LISSKON"
186 Shelkovichnaya St., Saratov 410071, Russia

Received: 14 June 2021 / revised: 15 August 2021 / accepted: 17 August 2021

Abstract. This work is devoted to assessment of the bacterial contamination of drainage systems in a galvanic production. In the course of the study, two strains of microorganisms which cause microbial contamination and lead to a decrease in the efficiency of the process equipment were isolated from water and wash sediment samples taken in the industrial water supply system of the enterprise and identified. Our study of the morphological and cultural properties of the isolated strains of bacteria has allowed them to be attributed to the genus *Bacillus*. As a result of a metagenomic analysis of the composition of microbial communities for the 16S rRNA gene (16S rDNA variable regions) according to the GenBank database on an ABI Prism 3730 automatic sequencer, the homology of the first strain with typical strains of the subgroup *B. velezensis* and *B. amyloliquifaciens* was established within 99.4–99.9%. When identifying the second isolated strain, the homology with *B. altitudinis* was 99.7%. Our study of the properties of the isolated strains has shown that they are neither pathogenic nor toxigenic. To reduce the microbial load in the technical water supply system, a series of experiments was carried out to select a biocide. Several variants of disinfectants of various groups were tested, namely: oxidizing ones (chloramine (a chlorine derivative of ammonia), hydrogen peroxide) and non-oxidizing ones (polymeric derivatives of polyhexamethylene guanidine (PHMG) produced by JSC NPK Mediana-filter and polyazolidine ammonium ionohydrate (PAG-M) produced by LLC "Constanta"). The polymeric compounds were found to be more effective than the chlorine-based disinfectants. An aqueous solution of polyhexamethylene guanidine had the best bactericidal effect on the microorganisms, therefore it was recommended to combat the existing bacterial contamination.

Keywords: industrial waste water, bacterial contamination, biofouling, biocides, disinfectants

For citation: Vedeneeva N. V., Skidanov E. V., Matveev Yu. A. Assessment of bacterial pollution of closed water supply systems of galvanized productions. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 4, pp. 447–457 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-4-447-457>

REFERENCES

Vinogradov S. S. *Ekologicheskii bezopasnoe gal'vanicheskoe proizvodstvo* [Environmentally Safe Electroplating Industry]. Moscow, Globus Publ., 1998. 302 p. (in Russian).

✉ *Corresponding author.* Department Ecology and Technosphere safety, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Nataliia V. Vedeneeva: <https://orcid.org/0000-0002-0383-3820>, vedeneevanv@sstu.ru; Eugeny V. Skidanov: mail@lisskon.ru; Yuri A. Matveev: ecology@sstu.ru.

Glinskaya E. V., Saveleva A. S., Voronin M. Y. Bacteria fouling in the systems of technical and circulating water supply of the Novovoronezh nuclear power station. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 4, pp. 481–484 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-4-481-484>

Gogina E. S., Gurinovich A. D., Uretsky E. A. *Resursosberegaiushchie tekhnologii promyshlennogo vodosnabzheniia i vodootvedeniia: spravochnoe posobie* [Resource-Saving Technologies of Industrial Water Supply and Sanitation]. Moscow, Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2012. 312 p. (in Russian).

Goncharova E. N., Vasilenko M. I. Biofouling of hydraulic structures. *Energo- i resursosberegaiushchie ekologicheski chistye khimiko-tekhnologicheskie protsessy zashchity okruzhaiushchei sredy: sbornik dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Energy- and Resource-Saving Environmentally Friendly Chemical and Technological Processes of Environmental Protection: Collection of Reports of the II International Scientific and Technical Conference]. Belgorod, Izdatel'stvo Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova, 2016, pp. 8–12 (in Russian).

Zibarev N. V., Politaeva N. A., Andrianova M. Yu. Use of *Chlorella sorokiniana* (Chlorellaceae, Chlorellales) microalgae for purification of waste water from the brewing industry. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 3, pp. 262–271. (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-262-271>

Kazimirov E. K., Kazimirov O. E. Complex solutions to the problem of scale formation, corrosion and biofouling in circulating water supply systems. *Khimicheskaya tekhnika*, 2012, no. 4, pp. 6 (in Russian).

Lavrenchuk L. S., Ermoshin A. A. *Mikrobiologiya: praktikum* [Microbiology: Workshop]. Yekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2019. 107 p. (in Russian).

Lysak V. V., Zheldakova R. A., Fomina O. V. *Mikrobiologiya. Praktikum: uchebnoe posobie* [Microbiology. Practicum: Teaching Guide]. Minsk, Belorusskii gosudarstvennyi universitet Publ., 2015. 115 p. (in Russian).

Holt J. G., Krieg N. R., Sneath P., Staley J. T., Williams S. T., eds. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology: in 2 vols.* Moscow, Mir Publ., 1997. 1250 p. (in Russian).

Pavlov D. V., Kolesnikov V. A. Electroplating industry wastewater treatment: Advanced solutions. *Water Supply and Sanitary Technique*, 2012, no. 6, pp. 66–69 (in Russian).

Praktikum po mikrobiologii: uchebnoe posobie. Pod red. A. I. Netrusov [A. I. Netrusov, ed. Microbiology Workshop: Textbook]. Moscow, Academy Publ., 2005. 608 p. (in Russian).

Khalafyan A. A. *Statistika 6. Statisticheskii analiz dannykh: uchebnoe posobie* [Statistika 6. Statistical Analysis of Data. Tutorial]. Moscow, Binom-Press Publ., 2007. 512 p. (in Russian).

Shonina N. A. Fight against biological fouling in hot water supply systems. *Santekhnika*, 2017, vol. 5, no. 5, pp. 56–59 (in Russian).

Chen X., Koumoutsis A., Scholz R., Eisenreich A., Schneider K., Heinemeyer I., Morgenstern B., Voss B., Hess W. R., Reva O., Junge H., Voigt B., Jungblut P. R., Vater J., Süßmuth R., Liesegang H., Strittmatter A., Gottschalk G., Borriss R. Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth-promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Nature Biotechnology*, 2007, vol. 25, iss. 9, pp. 1007–1014. <https://doi.org/10.1038/nbt1325>

Fan B., Wang C., Song X., Ding X., Wu L., Wu H., Gao X., Borriss R. *Bacillus velezensis* FZB42 in 2018: The gram-positive model strain for plant growth promotion and biocontrol. *Frontiers in Microbiology*, 2018, vol. 9, article number 2491. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02491>

Huang J., Wei Z., Tan S., Mei X., Shen Q., Xu Y. Suppression of bacterial wilt of tomato by bioorganic fertilizer made from the antibacterial compound producing strain *Bacillus amyloliquefaciens* HR62. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, vol. 62, iss. 44, pp. 10708–10716. <https://doi.org/10.1021/jf503136a>

ОЦЕНКА БАКТЕРИАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Mao S., Lu Z., Zhang C., Lu F., Bie X. Purification, characterization, and heterologous expression of a thermostable β -1,3-1,4-glucanase from *Bacillus altitudinis* YC-9. *Applied Biochemistry Biotechnology*, 2013, vol. 169, iss. 3, pp. 960–975. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-0064-3>

Shivaji S., Chaturvedi P., Suresh K., Reddy G. S. N., Dutt C. B. S., Wainwright M., Narlikar J. V., Bhargava P. M. *Bacillus aerius* sp. nov., *Bacillus aerophilus* sp. nov., *Bacillus stratosphericus* sp. nov. and *Bacillus altitudinis* sp. nov., isolated from cryogenic tubes used for collecting air samples from high altitudes. *International J. of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2006, vol. 56, iss. 7, pp. 1465–1473. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64029-0>

Tan S., Gu Y., Yang C., Dong Y., Mei X., Shen Q., Xu Y. *Bacillus amyloliquefaciens* T-5 may prevent *Ralstonia solanacearum* infection through competitive exclusion. *Biology Fertility Soils*, 2016, vol. 52, iss. 3, pp. 341–351. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1079-z>