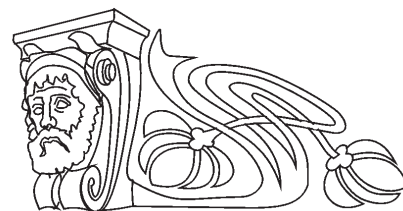




УДК 579.68:574.5

БАКТЕРИООБРАСТАНИЯ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ БАЛАКОВСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А. В. Кирилова, Е. В. Глинская, М. Ю. Воронин, А. С. Савельева



Кирилова Анна Вячеславовна, студент биологического факультета, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, anna.kirilova2017@yandex.ru

Глинская Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, elenavg-2007@yandex.ru

Воронин Максим Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры морфологии и экологии животных, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, voroninmj@yandex.ru

Савельева Александра Сергеевна, студент биологического факультета, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, saveleva.sasha13@mail.ru

Статья посвящена изучению бактериообрастаний в системе технического водоснабжения Балаковской атомной электростанции (БАЭС). Работу проводили в 2017 г. Пробы отбирали на следующих объектах: резервный дизель-генератор 3-го энергоблока (РДЭС-3), насосная станция подпитки пруда-охладителя (НППО), береговые насосные станции энергоблоков № 3 (БНС-3) и № 4 (БНС-4), машинные залы энергоблоков № 3 (МЗ-3) и № 4 (МЗ-4). Результаты показали, что на водонесущих конструкциях (БАЭС) формируется биологическая пленка, в составе которой обнаружены сапрофитные хемоорганотрофные мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные бактерии 5 родов (*Aeromonas*, *Bacillus*, *Dietzia*, *Rheinheimera*, *Vibrio*), а также хемолитотрофные бактерии из группы железобактерий, находящиеся в ассоциации. Количественные показатели изолированных из биопленки видов варьировали от 10^2 до 10^8 микробных клеток в 1 мл. Выделенные микроорганизмы представлены широко распространенными в природных водных и почвенных экологических системах видами бактерий, однако некоторые виды изолированных родов бактерий являются условно-патогенными и могут вызывать инфекционные заболевания у человека и животных. Обнаружение их в водоемах может быть связано с благоприятными для сохранения и размножения условиями, в первую очередь значениями температурного фактора.

Ключевые слова: бактериообрастания, система технического водоснабжения, Балаковская АЭС, сапрофитные бактерии, железобактерии, условно-патогенные бактерии.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-4-451-454>

Введение

Биообрастания, в частности бактериальные обрастания гидротехнических сооружений, являются актуальной проблемой в различных отраслях промышленности, в том числе в атом-

ной энергетике. Биопленки развиваются на поверхностях труб, насосов и на погруженных в воду поверхностях емкостей и технологического оборудования. В системе водоснабжения они ухудшают качество воды и санитарно-техническое состояние водопроводной сети, забивают сетки, решетки, фильтры и трубы. При биообрастании значительно снижается пропускная способность трубопроводов, ухудшается работа теплообменников, возрастают затраты энергии на перекачку воды [1]. Биопленка служит основой для развития водорослей и моллюсков, понижает уровень pH, ускоряет коррозию бетона и металлов [2]. Для решения проблем, связанных с биологическими обрастаниями оборудования, необходимы комплексные исследования по изучению видового разнообразия микроорганизмов, растений и животных, поступающих из водоема и развивающихся в системе водоснабжения [3, 4].

Целью работы было выявление и идентификация микроорганизмов, входящих в состав биопленок и участвующих в процессе биообрастания водонесущих конструкций в системе технического водоснабжения БАЭС.

Материалы и методы

Отбор проб бактериообрастаний с поверхностей водонесущего оборудования осуществляли стандартными методами с использованием стерильных тупферов, предназначенных для взятия образцов биологического материала, с последующей безопасной транспортировкой в лабораторию для проведения анализа в ограниченные сроки. Тупферы с биологическими пробами хранили в условиях низких температур не более 12 часов.

Для доступа к смачиваемой поверхности весной 2017 г. к водонесущему оборудованию БАЭС были подключены специальные агрегаты, позволяющие осуществлять мониторинг биообрастаний [5]. Отбор проб проводили в летне-осенний период 2017 г. Пробы были отобраны на следующих объектах: резервный дизель-генератор 3-го энергоблока (РДЭС-3), насосная станция подпитки пруда-охладителя (НППО), береговые насосные станции энергоблока № 3 (БНС-3) и № 4 (БНС-4), машинные залы энергоблока № 3 (МЗ-3) и № 4 (МЗ-4).



Определение количественных показателей сапрофитных мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (МА-ФАНМ) осуществляли стандартными методами [6]. Исследуемые пробы титровали до 10^{-4} . Далее осуществляли глубинный посев в ГРМ-агар (Россия, Оболенск). Посевы инкубировали при температуре 28 °С в течение 24–48 часов. Далее проводили количественный учет выросших колоний, определение индекса встречаемости выделенных видов и индекса общности сравниваемых проб.

Выделение железooksисляющих бактерий проводили на среде Лиске следующего состава: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 1,5 г; K_2HPO_4 – 0,05 г; KCl – 0,05 г; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,05 г; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,01 г; H_2O – 1 л; стерильная железная проволока. Культивирование осуществляли в течение 30 суток [6].

Видовую принадлежность бактерий определяли на основании анализа молекулярных маркеров гена 16S рРНК в ООО «Синтол» (г. Москва).

Статистическую обработку количественных показателей проводили с использованием программы Statistica 6.0. При статистической обработке полученных данных осуществляли расчет основных вероятностных характеристик случайных величин: первого или нижнего квартиля (25%), медианы (второго квартиля) для центрирования распределения и третьего или верхнего квартиля (75%).

Результаты и их обсуждение

Из биопленок, образуемых на водонесущих конструкциях, были выделены грамположительные и грамотрицательные бактерии 8 видов, являющиеся сапрофитами, хемоорганотрофами (таблица).

Видовой состав и количественные показатели (м.к./мл) бактериообрастаний в системе технического водоснабжения БАЭС

| Вид бактерий | Объекты БАЭС | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|--------------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| | БНС-3 | | БНС-4 | | МЗ-3 | | МЗ-4 | | НППО | | РДЭС-3 | |
| | lg м.к./мл | ИВ, % | lg м.к./мл | ИВ, % | lg м.к./мл | ИВ, % | lg м.к./мл | ИВ, % | lg м.к./мл | ИВ, % | lg м.к./мл | ИВ, % |
| <i>Aeromonas</i> sp. | – | – | – | – | $\frac{2,7^*}{0-5^{**}}$ | 70 | – | – | – | – | $\frac{2,7}{0-5}$ | 70 |
| <i>Bacillus halotolerans</i> | $\frac{2,3}{0-7}$ | 30 | – | – | $\frac{4,3}{0-7}$ | 70 | – | – | $\frac{1,7}{0-5}$ | 30 | – | – |
| <i>Bacillus subtilis</i> | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | $\frac{4,0}{0-7}$ | 70 |
| <i>Bacillus vallismortis</i> | $\frac{1,7}{0-5}$ | 30 | – | – | – | – | – | – | – | – | $\frac{1,7}{0-5}$ | 30 |
| <i>Dietzia maris</i> | – | – | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | – | – | – | – | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 |
| <i>Rheinheimera</i> sp. | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | $\frac{0,7}{0-2}$ | 30 | $\frac{0,7}{0-2}$ | 30 |
| <i>Rheinheimera chironomi</i> | $\frac{4,7}{2-7}$ | 100 | $\frac{0,7}{0-2}$ | 30 | $\frac{4,0}{2-6}$ | 100 | $\frac{0,7}{0-2}$ | 30 | $\frac{5,0}{0-8}$ | 70 | $\frac{4,0}{0-7}$ | 70 |
| <i>Vibrio</i> sp. | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | – | – | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 | – | – | $\frac{1,0}{0-3}$ | 30 |

Примечание: «–» – отсутствие вида в пробе, * – медиана, ** – межквартильный размах.

Анализ данных показал, что количественные показатели микроорганизмов варьируют от 10^2 до 10^8 микробных клеток в 1 мл и зависят от места отбора проб. Индекс встречаемости для разных видов бактерий составляет от 30 до 100%. Во всех пробах присутствуют бактерии рода *Rheinheimera*.

На водонесущих конструкциях береговых насосных станций энергоблоков № 3 и № 4 образуются биопленки, основу которых составляют бактерии *Rheinheimera* и *Bacillus*. Пробы бактериообрастаний с оборудования береговой насосной станции энергоблока № 3 включают 5 видов бактерий, численность отдельных ви-



дов варьирует от 10^2 до 10^7 микробных клеток в 1 мл, индекс встречаемости достигает 100%. Биопленки с конструкций береговой насосной станции энергоблока № 4 менее разнообразны (3 вида), численность бактерий не превышает 10^3 микробных клеток в 1 мл.

На конструкциях машинных залов энергоблоков № 3 и № 4 обнаружено 5 видов бактерий 4 родов. Из проб биопленок, образуемых на оборудовании машинного зала энергоблока № 3, чаще изолировались бактерии *Rheinheimera chironomi* (100%), *Aeromonas* sp. (70%) и *Bacillus halotolerans* (70%). Численность указанных видов также была максимальной и достигала 10^7 микробных клеток в 1 мл, что позволяет говорить о доминировании бактерий родов *Rheinheimera*, *Aeromonas* и *Bacillus* в биопленках. Пробы, отобранные на конструкциях машинного зала энергоблока № 4, отличались меньшим видовым разнообразием (3 вида, 2 рода), низкими показателями численности (до 10^3 микробных клеток в 1 мл) и встречаемости (до 30%).

Сравнительный анализ состава биопленок, образуемых на водонесущих конструкциях береговых насосных станций и машинных залов, показал, что индекс общности видового состава достигает 67%. Это связано с передачей воды береговыми насосными станциями из водоема-охладителя в машинные залы.

На оборудовании насосной станции подпитки пруда-охладителя обнаружено 4 вида бактерий, доминантами по встречаемости (до 70%) и численности (до 10^8 микробных клеток в 1 мл) также являются *Rheinheimera* и *Bacillus*. НППО закачивает воду из устьевой части р. Березовка в водоем-охладитель.

Биопленки конструкций резервного дизель-генератора 3-го энергоблока имеют максимальное биоразнообразие (7 видов бактерий). По индексу встречаемости и численным показателям доминируют бактерии родов *Rheinheimera*, *Aeromonas* и *Bacillus*. Вода, находящаяся в агрегатах РДЭС, поступает из замкнутых брызгальных бассейнов, отделенных от естественных водоемов, что является причиной высокого биоразнообразия микроорганизмов.

Во всех пробах обнаружены хемолитотрофные бактерии из группы железобактерий, находящиеся в ассоциации и образующие основу биопленки.

Таким образом, на металлических конструкциях в системе технического водоснабжения Балаковской АЭС формируются микробные биопленки, в составе которых обнаружены сапрофитные хемоорганотрофные мезофильные аэроб-

ные и факультативно-анаэробные бактерии 8 видов, а также хемолитотрофные железобактерии, образующие основу биопленки. Количественные показатели изолированных из биопленки видов варьируют от 10^2 до 10^8 микробных клеток в 1 мл. Индекс встречаемости доминантных видов достигает 100%.

Выделенные микроорганизмы представлены широко распространенными в природных водных и почвенных экологических системах видами бактерий, однако некоторые виды изолированных родов бактерий являются условно-патогенными и могут вызывать инфекционные заболевания у человека и животных [3, 4]. Обнаружение их в водоемах и системах водоснабжения может быть связано с благоприятными для сохранения и размножения условиями, в первую очередь значениями температурного фактора.

Список литературы

1. Селезнева А. В., Селезнев В. А. Проблемы восстановления экологического состояния водных объектов // Водное хозяйство России. 2010. № 2. С. 28–44.
2. Шалапин С. Н., Шалапина Т. С. Борьба с биологическими обрастаниями в системах оборотного водоснабжения и открытых водоемов. URL: <http://ukrengineer.com/pdf/bio.pdf> (дата обращения: 15.04.2018).
3. Нетрусов А. И. Экология микроорганизмов. М. : Академия, 2004. 265 с.
4. Наливайко Н. Г. Микробиология воды. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2006. 139 с.
5. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Б. Л. Практикум по микробиологии : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. А. И. Нетрусова. М. : Академия, 2005. 608 с.
6. Андрианов А. П., Первов А. Г. Методика определения параметров эксплуатации ультрафильтрационных систем очистки природных вод // Критические технологии. Мембраны. 2003. № 2 (18). С. 3–22.

Bacteria Fouling in the Systems of Technical and Circulating Water Supply of Balakovo Nuclear Power Station

A. V. Kirilova, E. V. Glinskaya,
M. Yu. Voronin, A. S. Saveleva

Anna V. Kirilova, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., 410012, Saratov, Russia, anna.kirilova2017@yandex.ru

Elena V. Glinskaya, <https://orcid.org/0000-0002-1675-5438>, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., 410012, Saratov, Russia, elenavg-2007@yandex.ru

Maksim Yu. Voronin, <https://orcid.org/0000-0001-7992-4502>, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., 410012, Saratov, Russia, voroninmj@yandex.ru



Alexandra S. Saveleva, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., 410012, Saratov, Russia, saveleva.sasha13@mail.ru

The article is devoted to the study of bacteria in the system of technical water supply of Balakovo nuclear power plant (BNPP). The work was carried out in 2017. The samples were taken at the following sites: backup diesel generator of the 3rd unit (røde's-3), pumping station of feeding pond-cooler (PSFPC), coastal pump station of unit 3 (CPS-U3), coastal pumping station of power unit № 4 (CPSP-U4), turbine hall of power unit № 3 (TH-PU3), turbine hall of power unit № 4 (TH-PU4). The results showed that the metal structures (BNPP) formed a microbiological film, in which were found saprophytic chemoorganotrophic mesophilic aerobic and facultative-anaerobic

bacteria of 5 genera (*Aeromonas*, *Bacillus*, *Dietzia*, *Rheinheimera*, *Vibrio*) as well as chemolithotrophic bacteria from the group of iron bacteria being in the association. The quantitative indices of species isolated from biofilm ranged from 10^2 to 10^8 microbial cells in 1 ml. The isolated microorganisms are represented by species of bacteria widespread in natural water and soil ecological systems, however some species of isolated genera of bacteria are opportunistic bacteria and can excite stimulate infectious diseases in humans and animals. The bacteria detection in water biotopes might be associated with temperature values that are favourable for their growth.

Key words: bacteria fouling, technical and circulating water supply, Balakovo NPP, saprophytic bacteria, iron bacteria, opportunistic bacteria.

Образец для цитирования:

Кирилова А. В., Глинская Е. В., Воронин М. Ю., Савельева А. С. Бактериообрастания в системе технического водоснабжения Балаковской атомной электростанции // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 4. С. 451–454. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-4-451-454>

Cite this article as:

Kirilova A. V., Glinskaya E. V., Voronin M. Yu., Saveleva A. S. Bacteria Fouling in the Systems of Technical and Circulating Water Supply of Balakovo Nuclear Power Station. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 4, pp. 451–454 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2018-18-4-451-454>
