

2
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

On-line версия журнала на сайте

<http://www.elmag.uran.ru>



2017
ГОД ЭКОЛОГИИ
В РОССИИ

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УрО РАН



ФОТО ВЕЛЬМОВСКОГО П.В.

2017

УЧРЕДИТЕЛИ

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УрО РАН

© Н.В. Немцева, 2017

УДК: 579.262:574.3:663.6

Н.В. Немцева

ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ БИОПЛЕНОК В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ В ПРОЦЕССЕ ВОДОПОДГОТОВКИ

Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург, Россия
Оренбургский государственный медицинский университет, Оренбург, Россия

Цель. Определить возможность образования биопленок микроорганизмов на этапах водоподготовки питьевой воды из артезианской скважины.

Материалы и методы. В качестве источника биопленок служила автохтонная микрофлора пресной воды питьевого назначения из артезианской скважины, полученной с глубины 120 метров. Биопленки получали методом «пластинок обрастания». Исследование проводили с использованием бактериологического метода и световой фазово-контрастной микроскопии. Осуществляли выборочную фоторегистрацию.

Результаты. Представлены данные, свидетельствующие о присутствии в артезианской воде автохтонной микрофлоры, способной к биопленкообразованию. Формирование биопленок происходило в течение 16 суток. Кроме бактерий в составе биопленок выявлено присутствие микроводорослей и простейших.

Закключение. Биопленкообразование в системах питьевого водоснабжения может рассматриваться как часть естественного процесса самоочищения. Однако, биопленки способны подвергаться инфицированию условно-патогенными микроорганизмами, что может создавать проблему для здоровья потребителей. Эволюционно сложившийся механизм существования микроорганизмов в биопленках, обеспечивающий устойчивость к дезинфекции и промывке систем, нацеливает на поиск новых подходов борьбы с этим явлением.

Ключевые слова: биопленки, обрастания, микрофлора, вода питьевая, бактерии, микроводоросли, простейшие, водоподготовка.

N.V. Nemtseva

STUDY OF THE FORMATION OF BIOFILMS IN DRINKING WATER IN THE PROCESS OF TECHNOLOGICAL PREPARATION

Institute of Cellular and Intracellular Symbiosis, UrB RAS, Orenburg, Russia
Orenburg State Medical University, Orenburg, Russia

Objective. Determine the possibility of the formation of biofilms of microorganisms at the stages of water treatment of drinking water from an artesian well.

Materials and methods. The ability to form biofilms in the autochthonous microflora of fresh drinking water from an artesian well has been studied. Biofilms were obtained by the "fusion plate" method. Light phase-contrast microscopy and a bacteriological method were used. Carried out a selective photographic registration.

Results. Data on the presence of autochthonous microflora, capable of biofilm formation, are presented in artesian water. The formation of biofilms took place within 16 days. In addition to bacteria in the composition of biofilms, the presence of microalgae and protozoa was detected.

Conclusion. Biofilm formation in drinking water supply systems can be considered as part of the natural process of self-purification. However, biofilms are able to be infected with opportunistic microorganisms, which can create a problem for the health of consumers. Evolu-

tionally developed mechanism for the existence of microorganisms in biofilms, providing resistance to disinfection and washing systems. This aims at finding new approaches to combat this phenomenon.

Key words: biofilms, biofouling, microflora, drinking water, bacteria, microalgae, protozoa, water treatment.

Введение

Качество питьевой воды является предметом заботы мирового сообщества. Современное глобальное решение экологических проблем и здоровья населения стимулирует усилия по ужесточению нормативов оценки качества воды [10, 11]. На смену завершившемуся в 2015 году Международному десятилетию действий «Вода для жизни», Генеральной Ассамблеей ООН принята новая резолюция, в соответствии с которой период с 2018 по 2028 гг. объявляется Международным десятилетием действий «Вода для устойчивого развития» [8]. По мнению представителей 177 государств – членов ООН, это позволит скоординировать усилия для решения вопросов и проблем, связанных с водными ресурсами.

Стремление к улучшению исходной воды, поступающей из водоисточника, привело к разработке новых технологий, а также модернизации процессов очистки для улучшения ее качества [12, 21].

Одной из ключевых проблем обеспечения качества питьевой воды являются обрастания, маты, хлопья, осадки или биопленки [16]. В настоящее время общепризнано, что микроорганизмы в естественных условиях существуют не в виде отдельных особей, а связаны между собой в сообщество [17, 23]. Биопленки представляют собой заключенные во внеклеточный матрикс структуры, образуемые микробными сообществами на границе раздела двух сред [13, 20]. Процесс биопленкообразования – обычное явление, происходящее как в естественных, так и искусственных системах. Для его инициации помимо твердой поверхности микроорганизмы нуждаются в воде [14]. Обработанная в процессе водоподготовки вода, подается потребителю через распределительные сети, состоящие из труб, насосов, клапанов, резервуаров для хранения, счетчиков, фитингов и других гидравлических приспособлений. На любом из этапов водоподготовки или транспортировки качество воды может дестабилизироваться за счет образования и отслоения биопленки [24].

Биопленкообразование значительно снижает качество водоподготовки, оно лежит в основе таких негативных процессов, как биообрастание, заку-

порка труб и коррозия поверхности металла [18, 25]. Вырабатываемый микроорганизмами внеклеточный матрикс обеспечивает им значительные преимущества, создавая защиту от направленного действия антимикробных факторов [14, 15]. Кроме того в процессе применения различных биоцидов прослеживается выделение микроорганизмами значительного количества внеклеточного полимера и других секретлируемых факторов защиты биопленки, что приводит к дополнительному усилению биообрастания [16, 19, 25]. В итоге, координация микроорганизмов в составе биопленок обеспечивает им значительные преимущества, что может негативно отражаться на качестве питьевой воды.

Целью настоящего исследования явилось определение возможности образования биопленок микроорганизмами на этапах водоподготовки питьевой артезианской воды.

Материалы и методы

Оценку качества артезианской воды производили бактериологическим методом в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Биопленкообразование изучали у представителей автохтонной микрофлоры пресной воды питьевого назначения из артезианской скважины, полученной с глубины 120 метров. Биопленки микроорганизмов получали известным и используемым в гидробиологии, методом «пластинок обрастания» [9], для чего обезжиренные стерильные предметные стекла закрепляли в пластиковых креплениях и помещали в емкости с исследуемой природной водой.

Формирование биопленок наблюдали путем просмотра предметных стекол на разной стадии культивирования с использованием светового микроскопа Axiostar plus (K. Zeiss, Германия) с использованием фазово-контрастной микроскопии при увеличении $\times 100$ и $\times 400$. Для более детального изучения биопленок использовали иммерсионную фазово-контрастную микроскопию (ув. $\times 1000$). Для этого предметные стекла с биопленками аккуратно накрывали покровными стеклами. По мере необходимости производили выборочную фоторегистрацию с использованием цифровой фотокамеры Cannon PowerShot G5, соединенной с микроскопом. Результаты измерений обрабатывали статистически, с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Исследование осуществляли на различных этапах водоподготовки при производстве бутилированной пресной питьевой воды. Химический состав воды: $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - 150 + 14,1$ мг/л; $\text{Mg}^{2+} - 10 + 1,4$ мг/л; $\text{HCO}_3^- - 300 + 28,3$ мг/л; минерализация – $1,9 + 0,03$ г/л.

Микробиологическая характеристика исследуемой воды представлена в таблице 1.

Таблица 1. Результаты санитарно-микробиологического и паразитологического исследования артезианской воды (СанПиН 2.1.4.1074-01)

Показатели	Единицы измерения	Нормативы	Результат
ОМЧ	КОЕ/мл	Не более 50	200
Общие колиформные бактерии	КОЕ/100 мл	Отсутствие	Отсутствуют в 100 мл
Термотолерантные колиформные бактерии	КОЕ/100 мл	Отсутствие	Отсутствуют в 100 мл
Колифаги	БОЕ/100 мл	Отсутствие	Отсутствуют в 100 мл
Споры сульфитредуцирующих клостридий	КОЕ/20 мл	Отсутствие	Отсутствуют в 20 мл
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	КОЕ/100 мл	Отсутствие	Отсутствуют в 100 мл
Цисты лямблий	Число цист в 50 л	Отсутствие	Отсутствуют в 50 л

По результатам проведенного исследования изначальное санитарное качество подаваемой из скважины воды было расценено как удовлетворительное. Отмечено повышение показателя ОМЧ (общее микробное число). Отсутствие в пробах санитарно-показательных микроорганизмов позволило отнести выделенные микроорганизмы к непатогенной автохтонной микрофлоре.

На технологических этапах в процессе водоподготовки выявлено снижение содержания аллохтонной микрофлоры в 20 раз (рис. 1). Показатель ОМЧ не превышал нормативные показатели (СанПиН 2.1.4.1116-02), соответствуя уровню питьевой воды 1 категории.

На следующем этапе осуществляли моделирование формирования биопленок. Известно, что процесс образования биопленок протекает в несколько этапов [5]. Схематически это представлено на верхней части рисунка 2.

На первой стадии формируется обратимое присоединение планктонных микроорганизмов к твердой поверхности (I).

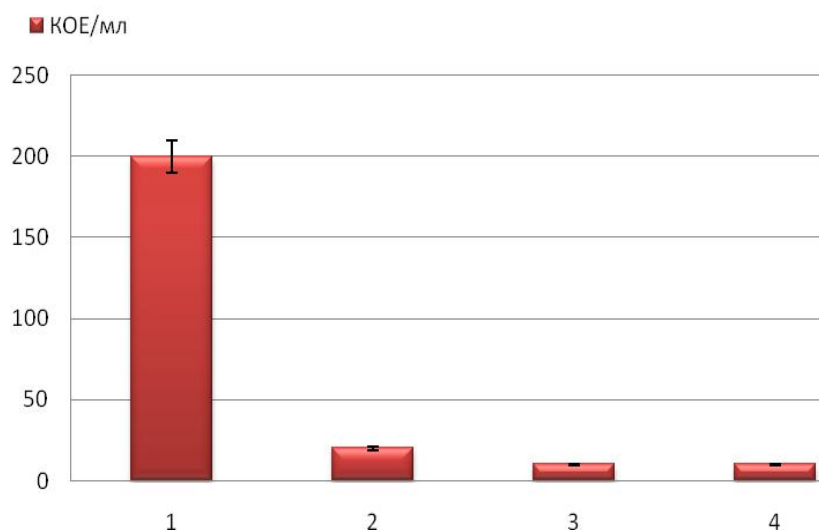


Рис. 1. Динамика ОМЧ воды на технологических этапах водоподготовки и накопления.

Обозначения: 1 - вода из скважины; 2 - после песчано-гравийного фильтра; 3 - после обработки ультрафиолетом; 4 - вода из накопительной емкости.

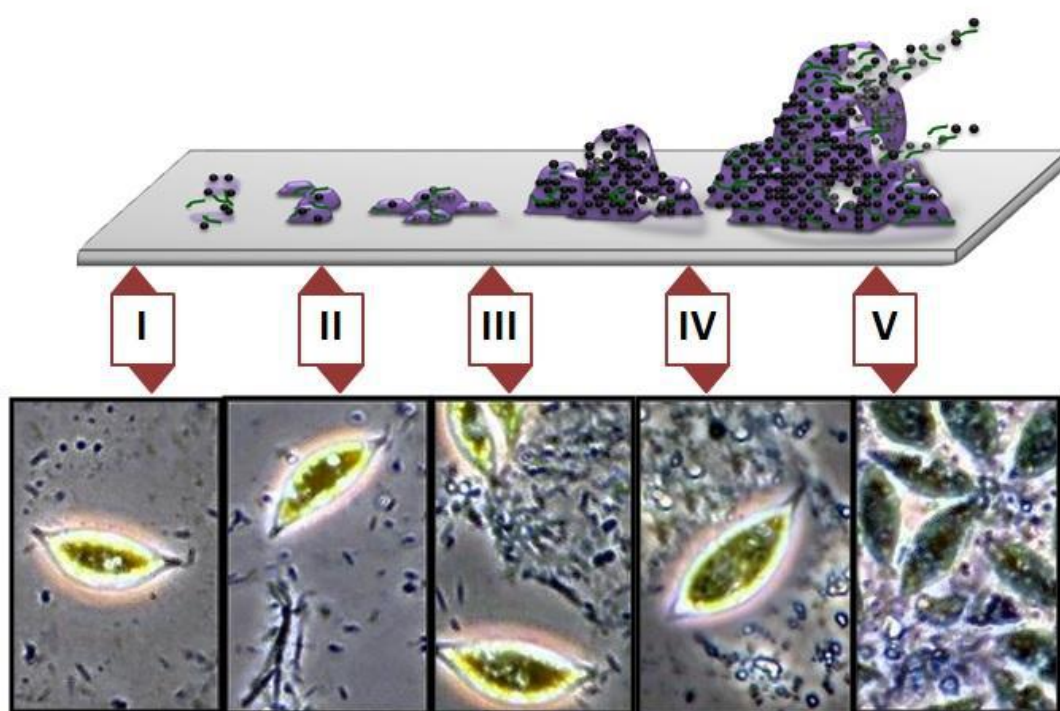


Рис. 2. Схема поэтапного развития биопленки и результаты микроскопического исследования.

Обозначения: Фазы развития биопленки (в эксперименте):

- I. Адгезия (3 сутки);
- II. Образование монослоя (6 сутки);
- III. Созревание I (9 сутки);
- IV. Рост – созревание II (13 сутки);
- V. Дисперсия – выброс бактерий (16 сутки).

Затем следует необратимое присоединение микробов к поверхности с образованием монослоя, что соответствует началу формирования структурных компонентов биопленки (II). Следующую стадию называют фазой созревания I, при этом наблюдается продукция внеклеточного матрикса, который удерживает вместе всю колонию. В эту стадию происходит формирование вертикальных структур биопленки (III). Далее следует рост (фаза созревания II), происходит образование множественных «башен» и каналов между ними. Внеклеточный матрикс служит защитой клеток от внешних угроз (IV). На завершающем этапе наблюдается дисперсия/выброс (V). Фрагменты биопленки или отдельные микроорганизмы отделяются от неё. Они способны через некоторое время прикрепиться к поверхности и образовать новую колонию.

При микроскопическом исследовании зафиксировано, что на третьи сутки от начала эксперимента наблюдалось взаимодействие микроорганизмов с поверхностью стекол (рис. 2, нижняя часть). На снимке заметно, что кроме бактерий в структуру биопленки встраивались клетки микроводорослей, входящих в состав аллохтонной микрофлоры. В связи с тем, что отсутствие света не позволяло им развиваться, процесс идентификации водорослей был затруднен. Поэтому стекла с обрастаниями в течение 6 часов выдерживали на свету. После повторной микроскопии было установлено, что микроводоросли в составе биопленки относятся к отделу Chlorophyta (зеленые), роду *Scenedesmus*.

В природных условиях микроводоросли часто образуют биопленки. Описаны случаи обнаружения их в накопительных емкостях питьевой воды. Серьезную угрозу для здоровья человека представляют виды, способные к токсинообразованию [17]. Микроводоросли способны самостоятельно продуцировать значительное количество слизи, что служит дополнительным источником развития матрикса и, в свою очередь, разрастания биопленки [1]. Ранее нами было показано, что в слизи микроводорослевых клеток сохраняются бактерии, поддерживающие свой персистентный потенциал, что обеспечивает им адаптацию к неблагоприятным условиям среды [4]. Следует подчеркнуть, что высокий персистентный потенциал микрофлоры питьевой воды негативно отражается на её санитарных показателях.

К 13 суткам наблюдалось разрастание биопленок. В их составе обнаруживали присутствие жгутиковых простейших. К 16 суткам процесс биопленкообразования достигал своего максимального развития, выявлялись

«очаги» новообразования биопленок. В составе обрастаний появлялись мелкие инфузории. Процесс взаимодействия простейших с биопленками обсуждается. Поскольку бактерии служат для них основной пищей, то в ряде случаев их значение оценивается в качестве регулирующего механизма, направленного на ограничение роста биопленки [3].

В последнее время в научной литературе обсуждается вопрос позитивного значения биопленок в системах водоочистки и подачи воды. Предполагается, что автохтонная микрофлора, поглощая питательные вещества из воды, выполняет свою естественную функцию самоочищения [17]. С другой стороны, пространственно и метаболически структурированные сообщества автохтонных микроорганизмов, заключенные в межклеточный матрикс на границе раздела «твердая поверхность – вода», могут являться питательной средой для встраивания санитарно-показательных, условно-патогенных и патогенных микроорганизмов, что может существенно ухудшать санитарные показатели воды [2, 6]. Не стоит также забывать о том, что в качестве питательных веществ могут выступать биodeградируемые синтетические полимеры, входящие в состав комплекса трубопроводов. Это может служить дополнительным источником поступления биопленок в систему водоснабжения.

Биопленкообразование в системах водоснабжения является сложноорганизованным и эволюционно скоординированным процессом [23]. По данным ряда специалистов [17], дезинфекция и промывка систем полностью не решает проблему биопленок. Поэтому необходим поиск новых подходов к борьбе с этим явлением.

Заключение

Таким образом, полученные результаты демонстрируют присутствие в артезианской воде автохтонной микрофлоры, способной к биопленкообразованию. Установлены сроки формирования биопленок, образование которых проходило в течение 16 суток. Способность к биопленкообразованию у микроорганизмов наблюдалась на всех технологических этапах водоподготовки. Кроме бактерий в организации биопленок участвовали микроводоросли и протисты. Следует отметить, что способность аллохтонной водной микрофлоры к биопленкообразованию в системах питьевого водоснабжения может рассматриваться как часть естественного процесса самоочищения. Одним из негативных проявлений биопленки является ее склонность подвергаться инфицированию условно-патогенными микроорганизмами, что создает пробле-

му для здоровья потребителей. Эволюционно сложившийся механизм существования микроорганизмов в биопленках, обеспечивающий устойчивость к дезинфекции и промывке систем нацеливает на поиск новых подходов борьбы с этим явлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенова Г.М., Штина Э.А., Дедыш С.Н., Глаголева О.Б., Лихачева А.А., Грачева Т.А. Экологические связи водорослей в биоценозах. Микробиология. 1995. 64(2): 149-164.
2. Игнатенко А.В. Изучение образования биопленок бактерий и оценка их устойчивости к биоцидам. Труды БГТУ. Серия 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. Минск, 2008. XVI:173-176.
3. Каминская А.А., Пушкарева В.И., Ермолаева С.А., Степанова Т.В., Алексеева Н.В., Андреев А.Л. Роль ассоциации простейших *Tetrahymena pyriformis* и бактерий *Burkholderia ceracia* в формировании биопленок. Успехи современной биологии. 2007. 127(1): 44-47.
4. Немцева Н.В. Значение персистентных свойств гидробионтов для симбиотических взаимодействий. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол. 2012. (4):70 - 76.
5. Николаев Ю.А., Плакунов В.К. Биопленка - "город микробов" или аналог многоклеточного организма? Микробиология. 2007. 76 (2): 149-163.
6. Павлова И.Б., Антонова А.Н., Ленченко Е.М. Исследование формирования биопленок патогенными бактериями. Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2016. 2(18): 63-70.
7. Раилкин А.И. Процессы колонизации и защиты от биообрастания. СПб: Изд-во С.-Петербург. Ун-та, 1998. 272 с.
8. Резолюция A/RES/71/222 «Международное десятилетие действий «Вода для устойчивого развития», 2018-2028 годы»... Программа действий по дальнейшему осуществлению Повестки дня на XXI век и решений Всемирной встречи на высшем уровне по устойчивому развитию и Конференции Организации Объединенных Наций по устойчивому развитию. Журнал Организации Объединенных Наций. 2016 (1 декабря). № 2016/232. С. 32. A/C.2/71/L.12/Rev.1
9. Родина А.Г. Методы водной микробиологии. Практическое руководство. М., Л.: Наука. 1965. 363 с.
10. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Том 1: 3-е изд. Женева: Всемирная организация здравоохранения. 2004. 63 с.
11. Руководство по организации и проведению эпидемиологического надзора за болезнями, связанными с водой. Всемирная организация здравоохранения, Европейское региональное бюро ВОЗ. 2011. 23 с. (URL: <http://www.euro.who.int/ru>)
12. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004. 328 с.
13. Cortés M.E., Bonilla J.C., Sinisterra R.D. Biofilm formation, control and novel strategies for eradication. Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances Méndez-Vilas A. (Ed.) FORMATEX. 2011: 896-895.
14. Costerton J.W., Lewandowski Z., Caldwell E., Korber D. R. Lappin-Scott H.M. Microbial Biofilms. Annu. Rev. Microbial. 1995. 49: 711-745.
15. Costerton J.W., Stewart P.S., Greenberg E.P. Bacterial Biofilms: A Common Cause Of Persistent Infections. Science. 1999. 284(5418): 1318-1322.
16. Elhariry H., Gherbawy Y., El-Deeb B., Altalhi A. Molecular Identification and Biofilm-Forming Ability of Culturable Aquatic Bacteria In Microbial Biofilms Formed in Drinking Water Distribution Networks. Geomicrobiology Journal. 2012. 29: 561-569.

17. Flemming H.-C., Wingender J. The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology*. 2010. 8: 623-633 (DOI: 10.1038/nrmicro2415).
18. Lee A. K., Newman D. K. Microbial iron respiration: impacts on corrosion processes. *Appl Microbiol. Biotechnol.* 2003. 62: 134-139 (DOI: 10.1007/s00253-003-1314-7).
19. Loto C. A. Microbiological corrosion: mechanism, control and impact - a review. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017: 1-12 (DOI: 10.1007/s00170-017-0494-8).
20. Maukonen J., Mättö J., Wirtanen G., Raaska L., Mattila-Sandholm T., Saarela M. Methodologies for the characterization of microbes in industrial environments: a review. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 2003. 30: 327-356. (DOI: 10.1007/s10295-003-0056-y).
21. Moel P.J., Verberk J.Q., Van Dijk J. *Drinking Water: Principles and Practices*. World Scientific Singapore. 2006. 413 p.
22. Nguyen T., Roddick F.A., Fan L. Biofouling of Water Treatment Membranes: A Review of the Underlying Causes, Monitoring Techniques and Control Measures. *Membranes*. 2012. 2(4): 804-840 (DOI: 10.3390/membranes2040804).
23. O'Toole G., Kaplan H.B., Kolter R. Biofilm Formation as Microbial Development. *Annu Rev Microbiol.* 2000. 54: 49-79.
24. Si X., Quan X. Prevention of multi-species wastewater biofilm formation using vanillin and EPS disruptors through non-microbicidal mechanisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017. 116: 211-218.
25. Singha T.K. Microbial Extracellular Polymeric Substances: Production, Isolation and Applications. *IOSR Journal of Pharmacy*. 2012. 2(2): 276-281.

Поступила 12.07.2017

(Контактная информация: Немцева Наталия Вячеславовна – доктор медицинских наук, заведующая лабораторией водной микробиологии, Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН.Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; моб. тел. 8-903-398-78-11; e-mail: nvnemtseva@gmail.com)

LITERATURA

1. Zenova GM, Shtina EA, Dedysh SN, Glagoleva OB, Likhacheva AA, Gracheva TA Ecological relations of algae in biocenoses. *Microbiology*. 1995. 64 (2): 149-164.
2. Ignatenko A.V. Study of biofilm formation of bacteria and evaluation of their resistance to biocides. *Proceedings of BSTU. Series 4: Chemistry, technology of organic substances and biotechnology*. Minsk, 2008. XVI: 173-176.
3. Kaminskaya AA, Pushkareva VI, Ermolaeva SA, Stepanova TV, Alekseeva NV, Andreev AL The role of the association of protozoans *Tetrahymena pyriformis* and bacterium *Burkholderia cepacia* in the formation of biofilms. *Advances in modern biology*. 2007. 127 (1): 44-47
4. Nemtseva N.V. Value of persistent properties of hydrobionts for symbiotic interactions. *Jour. Microbiol., Epidemiol. And immunobiol.* 2012. 4: 70-76.
5. Nikolaev Yu. A., Plakunov VK. Is biofilm a "city of microbes" or an analogue of a multi-cell organism? *Microbiology*. 2007. 76 (2): 149-163.
6. Pavlova IB, AntonovaA. N., Lenchenko EM Investigation of the formation of bio-films by pathogenic bacteria. *Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology*. 2016. 2 (18): 63-70.
7. Railkin AI The processes of colonization and protection from biofouling. St. Petersburg: Publishing house St. Petersburg. University, 1998. 272 p.
8. Resolution A / RES / 71/222 "International Decade for Action" Water for Sustainable Development ", 2018-2028" ... Program of Action for the Further Implementation of Agenda 21 and the outcomes of the World Summit on Sustainable Development and United Nations Conference on Sustainable Development. *Journal of the United Nations*. 2016 (1 Decem-

- ber). No. 2016/232. 32. 32. A / C.2 / 71 / L.12 / Rev.1
9. Rodina A.G. Methods of aquatic microbiology. Practical guidance. M., L.: Science, 1965. 363 p.
 10. Guidelines for the quality of drinking water. Volume 1: 3rd ed.-Geneva: World Health Organization. 2004. 63 pp.
 11. Guidance on the organization and conduct of epidemiological surveillance of water-related diseases. - World Health Organization, WHO Regional Office for Europe. 2011. 23 with. <Http://www.euro.who.int/en>
 12. Ryabchikov B.E. Modern methods of preparing water for industrial and domestic use. Moscow: DeLi print, 2004. 328 pp.
 13. Cortés M.E., Bonilla J.C., Sinisterra R.D. Biofilm formation, control and novel strategies for eradication. Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances Méndez-Vilas A. (Ed.) FORMATEX, 2011: 896-895.
 14. Costerton J.W., Lewandowski Z., Caldwell E., Korber D.R. Lappin-Scott H. M. Microbial Biofilms. Annu. Rev. Microbial. 1995. 49: 711-745.
 15. Costerton J.W., Stewart P.S., Greenberg E.P. Bacterial Biofilms: A Common Cause Of Persistent Infections. Science. 1999. 284(5418): 1318-1322.
 16. Elhariry H., Gherbawy Y., El-Deeb B., Altalhi A. Molecular Identification and Biofilm-Forming Ability of Culturable Aquatic Bacteria In Microbial Biofilms Formed in Drinking Water Distribution Networks. Geomicrobiology Journal. 2012. 29: 561-569.
 17. Flemming H.-C., Wingender J. The biofilm matrix. Nature Reviews Microbiology. 2010. 8: 623-633 (DOI: 10.1038/nrmicro2415).
 18. Lee A. K., Newman D. K. Microbial iron respiration: impacts on corrosion processes. Appl Microbiol. Biotechnol. 2003. 62: 134-139 (DOI: 10.1007/s00253-003-1314-7).
 19. Loto C. A. Microbiological corrosion: mechanism, control and impact - a review. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2017: 1-12 (DOI: 10.1007/s00170-017-0494-8).
 20. Maukonen J., Mättö J., Wirtanen G., Raaska L., Mattila-Sandholm T., Saarela M. Methodologies for the characterization of microbes in industrial environments: a review. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 2003. 30: 327-356. (DOI: 10.1007/s10295-003-0056-y).
 21. Moel P.J., Verberk J.Q., Van Dijk J. Drinking Water: Principles and Practices. World Scientific Singapore. 2006. 413 p.
 22. Nguyen T., Roddick F.A., Fan L. Biofouling of Water Treatment Membranes: A Review of the Underlying Causes, Monitoring Techniques and Control Measures. Membranes. 2012. 2(4): 804-840 (DOI: 10.3390/membranes2040804).
 23. O'Toole G., Kaplan H.B., Kolter R. Biofilm Formation as Microbial Development. Annu Rev Microbiol. 2000. 54: 49-79.
 24. Si X., Quan X. Prevention of multi-species wastewater biofilm formation using vanillin and EPS disruptors through non-microbicidal mechanisms. International Biodeterioration & Biodegradation. 2017. 116: 211-218.
 25. Singha T.K. Microbial Extracellular Polymeric Substances: Production, Isolation and Applications. IOSR Journal of Pharmacy. 2012. 2(2): 276-281.

Образец ссылки на статью:

Немцева Н.В. Изучение образования биопленок в питьевой воде в процессе водоподготовки. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. 2: 10с. [Электронный ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-2/Articles/NVN-2017-2.pdf>).