

Алексеева А.В.¹, Рахманин Ю.А.^{1,2}, Стратан Г.С.¹

Современные подходы к оценке биообрастания материалов и оборудования, применяемого в питьевом водоснабжении

¹Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина
ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия;

²ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Устойчивость к противомикробным препаратам входит в число десяти основных угроз здоровью в мире. Тесный контакт бактерий в биоплёнках способствует горизонтальному переносу генов устойчивости к антибиотикам. Этим обусловлено более высокое селекционное давление на бактерии по сравнению с планктонными формами. Невозможность обработки водопроводной воды непосредственно внутри труб заставляет обратить внимание на изучение адгезивных свойств вводимых в эксплуатацию материалов и методов оценки биообрастания.

Материалы и методы. Исследования образцов водопроводных труб проводили по МУ 2.1.4.2898–11. В статических условиях изучены процессы биообрастания на образцах водопроводных труб из различных материалов. Общее число микроорганизмов (ОМЧ) определяли в соответствии с ГОСТ 34786–2021, смывы с поверхности — по МУК 4.1.1260–03.

Результаты. Получены результаты, согласно которым следует ожидать существенных различий микробиологических показателей качества воды. Можно предположить, что наибольшей склонностью к биообрастанию будут обладать материалы композитной природы. В то же время исследования, проведённые в других странах, демонстрируют иные результаты в отношении биообрастания, что косвенно говорит об ограниченности суждений, основанных только на применённом нами методе.

Ограничения исследования. Исследование проведено на шести образцах водопроводных труб при стандартных условиях. Необходимо провести эксперименты в условиях, приближенных к условиям эксплуатации данных материалов, с моделированием тока воды и в условиях более длительного контакта.

Заключение. Увеличение количества анализируемых показателей качества питьевой воды, а также определение новых условно патогенных микроорганизмов, ассоциированных с антибиотикорезистентностью, вероятно, приведут к большим экономическим затратам, нежели тестирование элементов и систем водоснабжения для определения биообрастания вводимого в эксплуатацию оборудования. Положительных результатов следует ожидать при совершенствовании методик оценки биообрастания и введении их в рутинную практику, в том числе с учётом борьбы с антибиотикорезистентностью.

Ключевые слова: биообрастание; методы оценки; водоснабжение; материалы для питьевого водоснабжения; антибиотикорезистентность

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике.

Для цитирования: Алексеева А.В., Рахманин Ю.А., Стратан Г.С. Современные подходы к оценке биообрастания материалов и оборудования, применяемого в питьевом водоснабжении. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(10): 1250–1256. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1250-1256> <https://elibrary.ru/uocxcq>

Для корреспонденции: Алексеева Анна Венидиктовна, e-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru

Участие авторов: Алексеева А.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, сбор материала и обработка данных, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей; Рахманин Ю.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Стратан Г.С. — написание текста, сбор материала и обработка данных, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследования проводились в рамках государственного задания в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 21.07.2025 / Принята к печати: 15.10.2025 / Опубликовано: 14.11.2025

Anna V. Alekseeva¹, Yuriy A. Rakhmanin^{1,2}, Gabriella S. Stratan¹

Modern approaches to assessing biofouling of materials and equipment used in drinking water supply

¹Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene named after A.N. Sysin, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation;

²Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Antimicrobial resistance is one of the top ten threats to global health. Close contact between bacteria in biofilms facilitates horizontal transfer of antibiotic resistance genes. This results in higher selection pressure on bacteria compared to planktonic forms. The impossibility of handling tap water directly inside the pipe forces us to pay attention to the adhesive properties of materials additionally introduced into the electrical wiring and methods for assessing biofouling.

Materials and methods. The water pipe samples were tested according to MU 2.1.4.2898–11. Biofouling processes on water pipe samples made of various materials were studied under static conditions. The total number of microorganisms was determined in accordance with GOST 34786–2021.

Results. The obtained results indicate that significant differences in microbiological indicators of water quality should be expected. It can be assumed that the greatest tendency to biofouling will be materials of composite nature. At the same time, studies conducted in other countries show different results regarding biofouling, which, by the way, indicates to the inadequacy of conclusions based only on the method we use.

Limitations. The study was conducted on six water pipe samples under standard conditions. Experiments should be conducted under conditions closer to the operating conditions of these materials, simulating water flow and under longer-term contact conditions.

Conclusion. Increasing the number of analyzed drinking water quality indicators, as well as the procedure for identifying new opportunistic microorganisms associated with antibiotic resistance, will likely lead to greater economic costs than testing water supply elements and systems for biofouling of newly commissioned

equipment. Thus, the above arguments support the study of biofouling assessment methods and their introduction into routine practice, including from the point of view of the importance of combating antibiotic resistance.

Keywords: biofouling; assessment methods; water supply; drinking water supply materials; antibiotic resistance

Compliance with ethical standards. The study does not require the conclusion of the Biomedical Ethics Committee.

For citation: Alekseeva A.V., Rakhmanin Yu.A., Stratan G.S. Modern approaches to assessing biofouling in drinking water supply. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(10): 1250–1256. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1250-1256> <https://elibrary.ru/uocxcq> (In Russ.)

For correspondence: Anna V. Alekseeva, e-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru

Contribution: Alekseeva A.V. — concept and design of the study, writing the text, collecting material and processing data, editing; Rakhmanin Yu.A. — concept and design of the study, editing; Stratan G.S. — writing the text, collecting material and processing data; Malysheva A.G. — editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: July 21, 2025 / Accepted: October 15, 2025 / Published: November 14, 2025

Введение

Устойчивость к противомикробным препаратам входит в число десяти основных угроз здоровью в мире [1–3]. Согласно данным сети эпидемиологического надзора за устойчивостью к противомикробным препаратам, в Центральной Азии и Европе в 2019 г. шесть патогенов вызвали более 250 000 смертей, связанных с устойчивостью к противомикробным препаратам: *E. coli*, *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *S. pneumoniae*, *A. baumannii* и *P. aeruginosa* [4]. На сегодняшний день термин «антибиотикорезистентность» ассоциируется со всеми компонентами природной среды [5–8]. Широкое применение фармацевтических препаратов, средств личной гигиены, бытовой химии, дезинфицирующих средств и инсектицидов напрямую влияет на их присутствие в окружающей, в том числе водной, среде и приводит к тому, что химические компоненты этих средств и продукты их трансформации могут быть обнаружены уже не только в поверхностных, но и в подземных водах, а также в питьевой воде [5, 9].

Рост антибиотикорезистентности при образовании и накоплении биоплёнок в водной среде подтверждается многочисленными исследованиями [10]. При этом антибиотикорезистентность характерна не только для патогенных бактерий (*S. typhimurium* и *S. Enteritidis*) [11], но и условно патогенных, например, *E. bugandensis*. С учётом ограничений исследований микробиологических показателей в системах централизованного и нецентрализованного питьевого водоснабжения и допустимости присутствия в питьевой воде некоторого количества микроорганизмов можно предположить, что именно условно патогенные бактерии, характеризующиеся оппортунистическим поведением, будут серьёзной угрозой. Исследования показывают, что встраиваться в состав биоплёнок и образовывать их структуру могут не только вышеуказанные микроорганизмы, но и *A. calcoaceticus*, *E. coli*, *A. pittii*, *P. aeruginosa*, *A. junii* и *P. oleovorans*, *E. ludwigii* и др. [11, 12].

Показано, что антибиотики накапливаются в биоплёнках. Бактерии в биоплёнках находятся в тесном контакте, что способствует горизонтальному переносу генов устойчивости к антибиотикам посредством конъюгации, трансформации и трансдукции. Лизис клеток внутри биоплёнки увеличивает концентрацию внеклеточной ДНК, способствуя трансформации и передаче устойчивости другим бактериям. Этим обусловлено более высокое селекционное давление на внедрённые бактерии для развития и распространения устойчивости к антибиотикам по сравнению с планктонными формами [13]. В водной среде существуют факторы, которые потенциально могут увеличивать или снижать скорость роста биоплёнок. Процесс образования зависит от внешних условий, таких как температура, pH, гравитационные силы, гидродинамические силы, броуновские движения, природа обитаемых поверхностей, кворум-сенсорика, вторичные мессенджеры и другие сигнальные молекулы [14].

Присутствие биообрастания регистрируют в водопроводных трубах, выполненных из различных материалов [15]. При этом показано, что материалы труб влияют как на образование биоплёнок, их количественный и качественный состав [16], так и на антибиотикорезистентность [17]. Существующие исследования демонстрируют недостаточность методов обработки воды в борьбе с биоплёнками. Озонирование воды в исследованиях восемнадцати клинических штаммов *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* демонстрирует следующие результаты: озонированная вода снижала количество жизнеспособных клеток до фонового уровня после кратковременного воздействия (30 с), однако данный метод обеззараживания имеет ограничения [18]. Озонирование практически не обладает эффектом последствием, а рост биоплёнок может происходить непосредственно внутри труб распределительной сети. Существующие исследования подтверждают такую вероятность. Так, при исследовании микробиологических параметров водопроводной воды было обнаружено, что в распределительных трубах биоплёнка составила более 94% от общей биомассы [19]. Аналогичные результаты показывают такие физические методы обеззараживания, как ультрафиолетовое облучение, электронно-импульсное излучение и др. Хлорирование воды в некоторых случаях также не может гарантировать достаточного эффекта. Более того, при окислительных реакциях образуются побочные продукты дезинфекции с окислительным потенциалом, стимулирующие экспрессию генов антибиотикорезистентности. Так, несмотря на хлорирование воды (концентрация свободного хлора в поступающей воде составляла 0,05–0,45 мг/л, что соответствует стандартам качества питьевой воды в Китае (GB 5749–2022)), которое существенно снижало количество антибиотикорезистентных бактерий, в биоплёнках и сточных водах биоплёночного реактора наблюдалось заметное увеличение генов антибиотикорезистентности [20].

Обработка водопроводной воды непосредственно внутри труб, гарантирующая достаточный результат в борьбе с биоплёнками, невозможна, поэтому необходимо изучать методы оценки биообрастания и свойства вводимых в эксплуатацию труб [21]. Такую оценку проводят по действующим методическим указаниям¹. Согласно этому документу, о процессах биообрастания свидетельствует увеличение в 10 и более раз общего микробного числа при параллельном нарастании количества аммиака и нитритов в водных вытяжках (при отсутствии нарастания нитритов и аммиака значительным считается увеличение общего микробного числа на 2 порядка).

Биообрастание оценивают путём визуального (с помощью лупы) обнаружения плёнки и (или) при микроскопии соскоба с поверхности изучаемой продукции на 30-е сут-

¹ МУ 2.1.4.2898–11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки».

Таблица 1 / Table 1

Показатели микробного загрязнения в воде модельного водоёма с трубами и в смывах с внутренних поверхностей труб (первая серия)
Indices of microbiological contamination in a model water reservoir with pipes and in washings from the internal surfaces of pipes (first series)

Показатель Index	Контроль Control	Опытные ёмкости / Experimental tanks					
		1	2	3	4	5	6
Общее микробное число в воде модельного водоёма с трубами (температура плюс 37 ± 1 °C), КОЕ/мл Total microbial count in water of a model reservoir with pipes (37 ± 1.0 °C, CFU/mL)	216	205	104	10	37	18	499
Оценка процессов биообрастания (биоплёнка) и биокоррозии, наличие/отсутствие Assessment of biofouling (biofilm) and biocorrosion processes, presence/absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence
Представители грибковой микрофлоры, КОЕ/мл Representatives of fungal microflora, CFU/mL	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence	Отсутствие Absence

ки контакта продукции с дехлорированной водопроводной или природной водой, расфасованной в ёмкости, не подвергшейся обеззараживанию химическими реагентами.

При микроскопии соскоба определяют общее микробное число и общее число грибов, необходимо также определение аммиака и нитритов. Данный метод имеет ограничения. Например, в методических указаниях отсутствует информация о размерах площади, с которой положено делать смыв. Также существует вероятность того, что тридцатидневный период, отведённый на исследования, может быть недостаточным для оценки нарастания биоплёнки из-за медленной адаптации микроорганизмов к питательным веществам из тестируемого материала или продукта². Таким образом, результаты разных работ могут быть источником случайной ошибки.

Цель исследования — гигиеническая оценка образцов труб, предназначенных для распределительной сети питьевого водоснабжения, с последующим анализом микробиологических показателей и сравнением их с существующим опытом других стран для обоснования дополнительных методов оценки качества материалов, используемых в системе питьевого водоснабжения.

Материалы и методы

Исследования образцов водопроводных труб проводили по программе испытаний соответствующей МУ 2.1.4.2898–11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки. Методические указания»¹. В статических условиях изучены процессы биообрастания на образцах водопроводных труб из различных синтетических материалов: два образца на основе из полиэтилена (ёмкости 1 и 2), два на основе из стеклопластика (ёмкости 3 и 4), полиуретановое внутреннее покрытие (5), труба из высокопрочного чугуна с внутренним цементно-песчаным покрытием (6).

Тестовые образцы: трубы из полиэтилена и стеклопластика с внешним диаметром 5 см и внутренним диаметром 4,5 см, длина тестовых отрезков трубы — от 15,5 до 31,5 см. Образцы полиуретанового покрытия для эксперимента наклеили на стеклянные квадраты (площадь 10×10 см). Из чугунной трубы большого диаметра для проведения эксперимента были вырезаны квадраты 20×20 см.

Подготовка образцов: каждый тестовый отрезок трубы промывали водопроводной водой согласно МУ 2.1.4.2898–11 и ополаскивали дистиллированной водой перед размещением в тестовую воду. В качестве тестовых вод в первой серии исследований использовали дехлорированную водопроводную

воду, во второй серии — дехлорированную водопроводную воду (предварительно прокипячённую и остуженную до температуры плюс 23 ± 2 °C) с последующим внесением естественного микробиоценоза загрязнённых водоёмов. Для контроля использовали московскую дехлорированную водопроводную воду с внесением естественного микробиоценоза загрязнённых водоёмов. Исследования проводили при температуре плюс 23 ± 2 °C. Срок исследования водных вытяжек — 30 сут экспозиции.

При проведении исследований тестовых образцов водопроводных труб соблюдали следующие требования. Образцы помещали в стеклянные ёмкости и закрывали для предотвращения испарения; общий объём тестовой воды составлял не менее 6 л; соотношение величины площади поверхности тестовых образцов с объёмом водной среды (удельная поверхность) составляло $1 \text{ см}^2 : 1 \text{ см}^3$.

Общее микробное число (ОМЧ) определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 34786–2021³ «Вода питьевая. Методы определения общего числа микроорганизмов, колiformных бактерий, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и энтерококков (с поправкой)», а общее число грибов — по МУК 4.1.1260–03⁴. Содержание аммиака и нитритов в водных вытяжках определяли в соответствии с РД 52.24.383–95⁵ и МУК 4.1.065–96⁶ соответственно.

Результаты

Концентрации аммиака и нитритов во всех водных вытяжках в течение месяца практически не нарастали и находились в диапазоне $< 0,08$ – $0,15$ и $0,245$ – $0,504$ мг/дм³ соответственно.

Результаты микробиологических исследований в первой серии эксперимента представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 подтверждают, что показатель ОМЧ не увеличивался по отношению к контролю, визуально процессы биообрастания и биокоррозии за 30 сут наблюдения не проявились. Представители грибковой микрофлоры не обнаруживались ни в одном из исследованных образцов.

Во второй серии эксперимента использовали водопроводную воду с внесением естественного микробиоценоза

³ ГОСТ 34786–2021 «Вода питьевая. Методы определения общего числа микроорганизмов, колiformных бактерий, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и энтерококков».

⁴ МУ 2.1.4.1057–01 «Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Организация внутреннего контроля качества санитарно-микробиологических исследований воды».

⁵ РД 52.24.383–95 «Массовая концентрация аммонийного азота в водах. Методика измерений фотометрическим методом в виде индофенолового синего».

⁶ МУК 4.1.1260–03 «Методы контроля. Химические факторы. Измерение массовой концентрации нитрита флуориметрическим методом в пробах питьевой воды и воды поверхностных и подземных источников водопользования».

² EN 16421: 2015 Influence of materials on water for human consumption — Enhancement of microbial growth (EMG).

Таблица 2 / Table 2

Показатели общего микробного числа в воде модельного водоёма с трубами и в смывах с внутренних поверхностей труб (вторая серия)
Indices of total microbial count in water of a model reservoir with pipes and in washings from the internal surfaces of pipes (second series)

Показатель Index	Контроль Control	Опытные ёмкости / Experimental tanks					
		1	2	3	4	5	6
Общее микробное число в воде модельного водоёма с трубами, КОЕ/мл Total microbial count in water of a model reservoir with pipes, CFU/mL	3875	520	1860	810	90	205	17 200
Общее микробное число в смывах с внутренних поверхностей труб, КОЕ/мл Total microbial count in washings from the internal surfaces of pipes, CFU/mL	—	13 500	34 500	166 000	4800	26 000	42 000
Отношение числа микроорганизмов в биоплёнке к ОМЧ в воде модельного водоёма, количество раз Ratio of the number of microorganisms in the biofilm to the total microbial count in the water of the model reservoir, number of times	—	26	18.5	205	53	127	2.4

из загрязнённых водоёмов с целью интенсификации процессов биообращения и более наглядной визуализации динамики этого явления. Результаты представлены в табл. 2.

По данным второй серии эксперимента видно, что показатель общего микробного загрязнения в воде модельного водоёма № 6 был выше по сравнению с контролем в 4,4 раза. Во всех остальных пробах отмечено снижение исследуемого показателя. Наиболее резкое снижение установлено в пробах 4 и 5 — в 43 и 18,9 раза соответственно. Определение содержания ОМЧ в смывах с внутренней поверхности исследуемых образцов труб, отобранных с участка площадью 10×10 см, показало наибольшее количество колоний сапрофитной микрофлоры (на уровне $166 \cdot 10^3$ КОЕ/мл) при контакте воды с материалом труб из стеклопластика (образец 3). Наименьшее количество микрофлоры ($4,8 \cdot 10^3$ КОЕ/мл) отмечалось в смывах из образца 4 (стеклопластик, рецептура 2) — так же как и в модельной воде, где содержание ОМЧ снизилось в 43 раза по сравнению с контролем.

В то же время исследование показало, что наиболее интенсивное развитие микроорганизмов в водной среде на внутренней поверхности труб в образовавшихся биоплёнках происходило в образцах 3 (в 205 раз) и 5 (в 127 раз), наименее интенсивно — в образце 1 (в 26 раз), 2 (в 18,5 раза) и особенно в образце 6 (всего в 2,4 раза). Таким образом, в трубах 3 и 5 наиболее интенсивно возникали и накапливались биоплёнки.

Обсуждение

В группу организмов ОМЧ входят споровые бактерии, наиболее устойчивые к воздействию обеззараживающих агентов. Кроме того, в ОМЧ учитывают водные бактерии, способные к интенсивному размножению в воде при благоприятных условиях, поскольку для них это естественная среда обитания. В водоёмах данные микроорганизмы активно участвуют в процессах самоочищения от органических и биологических агентов, служат пищей для зоопланктона и являются начальным звеном в цепи превращения веществ в водных биоценозах. Вторичное размножение бактерий свидетельствует о неблагоприятном санитарном состоянии водопроводных очистных сооружений или распределительных сетей.

Проведённое нами исследование показало, что следует ожидать значительных различий микробиологических показателей качества воды в случае использования изученных материалов в водопроводной системе. Можно предположить, что наибольшей склонностью к биообращанию будут обладать материалы композитной (стекловолокно, пропитанное полимерной смолой) и некомпозитной (полиуретан) природы. В то же время существующие исследования демонстрируют другие показатели биообращения труб, выполненных из аналогичных нашим материалов, что кос-

венно говорит о недостаточности суждений, основанных только на применённом нами методе. Так, исследование, проведённое в Нидерландах, демонстрирует следующие результаты: при отборе в одной системе распределения трубы из ПВХ имели самую низкую концентрацию биоплёнки по сравнению с выполненными из других материалов, тогда как чугун обычно имел самую высокую концентрацию биоплёнки [22]. Физико-химические характеристики материалов, используемых в водной среде, также демонстрируют больший потенциал для образования биоплёнок на стенках труб, выполненных из чугуна. Так, гидрофобность, угол контакта и шероховатость поверхности, влияющие на адгезию микробных клеток и начальные этапы формирования биоплёнки, выше у чугуна по сравнению с полимерными материалами [23].

Исходя из данных, полученных в нашем эксперименте, и в исследовании, проведённом в Нидерландах [22], можно предположить, что количество планктонных форм микроорганизмов может не быть сопоставимым с количеством биоплёнки, образовавшейся на внутренней поверхности труб. Некорректно делать выводы о бактериальной биомассе и её составе в системах распределения питьевой воды только на основе анализа питьевой воды, без учёта биоплёнки, образовавшейся непосредственно внутри труб. Необходимо понимать, что один лишь контроль качества питьевой воды не даёт гарантии эпидемиологической безопасности, поскольку стабильность может быть нарушена, например, вследствие отслоения биоплёнки. Существует и вероятность того, что разница результатов исследований обусловлена использованием разных методов оценки биообращения, применяемых в нашей стране и за рубежом.

В настоящий момент существует определённое количество методов для различных спектров изучения процессов биообращения. Среди них есть современные методы визуализации, например, конфокальная лазерная сканирующая микроскопия, молекулярные методы, методы *in silico* и др. [24]. Наша методология значительно отличается от зарубежной. Так, в странах Евросоюза действует стандарт UNI EN 16421², который определяет три метода определения способности неметаллических материалов усиливать рост микроорганизмов: метод 1 — измерение потенциала производства биомассы по АТФ; метод 2 — объёмный метод измерения биоплёнки; метод 3 — измерение по среднему источению растворённого кислорода.

В данной статье мы считаем обоснованным привести сравнительную характеристику с объёмным методом измерения биоплёнки как наиболее схожим с методом, применяемым на территории Российской Федерации. Сравнительная характеристика приведена в табл. 3.

Таким образом, очевидна разница используемых методов измерения биообращения, используемых в Российской Федерации и в странах Европейского союза. Вероятно, смыс-

Таблица 3 / Table 3

Сравнительная характеристика методов измерения биоплёнки в России и странах Европейского союза на базе основных документов**Comparative characteristics of biofilm measurement methods in Russia and the European Union countries based on key documents**

Сравниваемая величина Comparison value	Документ / Document	
	МУ 2.1.4.2898–11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки» ¹ MU 2.1.4.2898–11 "Sanitary and epidemiological studies (tests) of materials, reagents and equipment used for water purification and water treatment"	UNI EN 16421 Влияние материалов на воду, потребляемую человеком. Усиление роста микроорганизмов ² Effect of materials on water for human consumption. Enhancement of microbial growth
Характер документа Nature of the document	Рекомендательный It is advisory	Законодательный It has a legislative nature
Принцип метода Principle of the method	Оценка биообрастания осуществляется на 30-е сутки контакта продукции с дехлорированной водопроводной водой или природной водой, расфасованной в ёмкости, не подвергшейся обеззараживанию химическими реагентами, путём визуального (с помощью лупы) обнаружения плёнки и (или) микроскопии соскоба с поверхности изучаемой продукции. При микроскопии соскоба определяют общее микробное число и общее число грибов. Необходимым является также определение аммиака и нитритов Biofouling is assessed on the 30 th day of product contact with dechlorinated tap water or natural water packaged in containers that have not been disinfected with chemical reagents, by visual (using a magnifying glass) detection of the film and/or microscopy of scrapings from the surface of the product being studied. When examining a scraping microscopy, the total number of microbes and the total number of fungi are determined. Determination of ammonia and nitrites is also mandatory	Образцы для испытаний очищают дезинфицирующим средством, ополаскивают питьевой водой и подвергают воздействию медленно текущей испытательной водой в испытательном контейнере в течение определённого периода времени. Затем образцы для испытаний удаляют, биоплёнку собирают путём соскабливания и её объём количественно измеряют после центрифугирования The test specimens are cleaned with a disinfectant, rinsed with potable water and exposed to slowly flowing test water in a test container for a specified period of time. The test specimens are then removed, the biofilm is collected by scraping and its volume is quantified after centrifugation
Аппаратура и реагенты Equipment and reagents	—	Дезинфицирующее средство Вода Положительный контроль Отрицательный контроль Испытательный контейнер и испытательный модуль для труб и шлангов Скребок Центрифуга Стеклянная посуда для центрифугирования Расходомер жидкости Disinfectant, Water, Positive Control, Negative Control, Test Container and Test Module for Pipes and Hoses, Scraper, Centrifuge, Centrifuge Glassware Liquid, Flow Meter
Критерии качества используемой воды Quality criteria for water used	Дехлорированная водопроводная или природная вода Dechlorinated tap or natural water	Концентрация свободного хлора < 0.02 Концентрация аммиака-N < 0.5 Концентрация серебра < 0.01 Free chlorine concentration < 0.02 Ammonia-N concentration < 0.5 Silver concentration < 0.01
Положительный контроль Positive control	—	Пластины из нержавеющей стали (20 × 20 см, минимальная толщина 0.2 см), покрытые с одной стороны парафином (температура плавления 56–58 °C, общая площадь поверхности не менее 800 см ²) Stainless steel plates (size 20 cm × 20 cm × minimum thickness 0.2 cm), coated on one side with paraffin (melting point from 56 °C to 58 °C, the total surface area of which is not less than 800 cm ²)
Отрицательный контроль Negative control	—	Пластины (20 × 20 см, минимальная толщина 0.2 см), изготовленные из материалов в соответствии с п. 3.9 (например, стекло или нержавеющая сталь), общая площадь поверхности которых не менее 800 см ² Plates (size 20 cm × 20 cm × minimum thickness 0.2 cm) made of materials in accordance with paragraph of 3.9 (e.g. glass or stainless steel), the total surface area of which is not less than 800 cm ²
Объём контейнера Container volume	Общий объём воды для исследования должен быть не менее 5–10 л The total volume of water for the study should be at least 5–10 L	≈ 100 л / About 100 L

Продолжение Таблицы 3 на стр. 1255 / Continuation of Table 3 on page 1255

Окончание Таблицы 3. Начало на стр. 1254 / End of Table 3. Beginning on page 1254

Сравниваемая величина Comparison value	Документ / Document	
	МУ 2.1.4.2898—11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки» ¹ MU 2.1.4.2898—11 "Sanitary and epidemiological studies (tests) of materials, reagents and equipment used for water purification and water treatment"	UNI EN 16421 Влияние материалов на воду, потребляемую человеком. Усиление роста микроорганизмов ² Effect of materials on water for human consumption. Enhancement of microbial growth
Поверхность смыва (размер) Flush surface	Не регламентирована Not regulated	—
Время экспозиции Exposure time	1 мес / 1 month	3 мес / 3 months
Этапность исследований (снятие и измерение количества биоплёнки) Stages of research (removal and measurement of the amount of biofilm)	1 этап / Stage 1	3 этапа / 3 stages
Размеры испытуемого образца Dimensions of the test sample	Размер не регламентирован. Исследования проводят на типовом образце продукции, или вычисляется по формулам The size is not regulated. Research is carried out on a typical sample of the product, or calculated using formulas	Площадь поверхности каждого образца 800 см ² Each surface area is 800 cm ²
Температура воды Water temperature	20–22 °C	12 ± 5 °C
Пропускная способность испытательного модуля Test module throughput	—	от 0,4 до 3 м ³ /ч from 0.4 m ³ /h to 3 m ³ /h
Дополнительные условия Additional terms	—	Испытание проводится в темноте (тёмная комната или металлический контейнер с металлической крышкой) The test is carried out in the dark (dark room or metal container with metal lid)

с поверхностей может быть недостаточно информативным, так как рост биоплёнок зачастую выражается неравномерной колонизацией абиотических поверхностей [25]. Также существующие исследования подтверждают, что ОМЧ не всегда сопоставимо с количеством биоплёнки, и это говорит о преимуществах прямого количественного измерения.

Заключение

Гигиеническая оценка для определения биообрастания образцов труб, предназначенных для распределительной сети питьевого водоснабжения, проведена согласно МУ 2.1.4.2898—11. В основе метода лежит измерение ОМЧ. Полученные результаты свидетельствуют о наибольшей склонности к биообрастанию одной из рецептур материала на основе стекловолокна, пропитанного полимерной

смолой, а также материала, имеющего полиуретановое покрытие. Эксперименты зарубежных исследователей демонстрируют результаты, существенно отличающиеся от наших. Существует вероятность недостаточности применимого нами метода, что особенно важно учитывать в условиях борьбы с антибиотикорезистентностью.

Увеличение количества анализируемых показателей в питьевой воде, а также процедура определения новых условно патогенных микроорганизмов, ассоциированных с антибиотикорезистентностью, вероятно, приведёт к большим экономическим затратам, нежели тестирование элементов и систем водоснабжения на предмет биообрастания вводимого в эксплуатацию оборудования. Таким образом, приведённые выше доводы свидетельствуют в пользу изучения методик оценки биообрастания и введения их в рутинную практику, в том числе для борьбы с антибиотикорезистентностью.

Литература

(п.п. 5–8, 10–20, 22–25 см. References)

1. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Стратегия предупреждения распространения антимикробной резистентности в Российской Федерации на период до 2030 года; 2017. Доступно: <https://docs.cntd.ru/document/436775118>
2. ВОЗ. Десять угроз глобальному здравоохранению в 2019 году; 2019. Доступно: <https://who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>
3. ВОЗ. Отчёт о глобальной системе надзора за устойчивостью к противомикробным препаратам и их применением (GLASS) за 2022 год; 2022.
4. World Bank Group. Защита продовольственных систем, предотвращение будущих пандемий. Аналитическая записка по программе «Единое здоровье» в Центральной Азии. Доступно: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099752009202324268/pdf/IDU0680d37eb0dbe304be1083d101f9b4d91f05b.pdf>
5. Савостикова О.Н., Мамонов Р.А., Тюрина И.А., Алексеева А.В., Николаева Н.И. Ксенобиотики и продукты их трансформации в сточных водах (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1218–23. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1218-1223> <https://elibrary.ru/fivvue>
6. Алексеева А.В., Савостикова О.Н., Мамонов Р.А. Сравнительный анализ методов оценки возможности применения полимерных материалов в питьевом водоснабжении, закрепленных в законодательствах России и Германии. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019; 10(2): 263–7. <https://elibrary.ru/uyvsgo>

References

- Electronic fund of legal and normative-technical documents. Strategy for preventing the spread of antimicrobial resistance in the Russian Federation for the period up to 2030; 2017. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/436775118>
- WHO. Ten threats to global health in 2019; 2019. Available at: <https://who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>
- WHO. Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System (GLASS) 2022 report; 2022.
- World Bank Group. Protecting Food Systems, Preventing Future Pandemics. Policy Brief on the One Health Program in Central Asia. Available at: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099752009202324268/pdf/IDU0680d37eb0db304be1083d101f9b4d91f05b.pdf> (in Russian)
- Gangar T., Patra S. Antibiotic persistence and its impact on the environment. *Biotech.* 2023; 13(12): 401. <https://doi.org/10.1007/s13205-023-03806-6>
- Lyu J., Yang L., Zhang L., Ye B., Wang L. Antibiotics in soil and water in China—a systematic review and source analysis. *Environ. Pollut.* 2020; 266(Pt. 1): 115147. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115147>
- Perez C., Lors C., Floquet P., Erable B. Biodeterioration kinetics and microbial community organization on surface of cementitious materials exposed to anaerobic digestion conditions. *J. Environ. Chem. Eng.* 2021; 9(4): 105334. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105334>
- Stanley D., Batacan R. Jr., Bajagai Y.S. Rapid growth of antimicrobial resistance: the role of agriculture in the problem and the solutions. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2022; 106(21): 6953–62. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12193-6>
- Savostikova O.N., Mamonov R.A., Turina I.A., Alekseeva A.V., Nikolaeva N.I. Xenobiotics and products of their transformation in wastewater (literature review). *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1218–23. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1218-1223> <https://elibrary.ru/fivvue> (in Russian)
- Balcázar J.L., Subirats J., Borrego C.M. The role of biofilms as environmental reservoirs of antibiotic resistance. *Front. Microbiol.* 2015; 6: 1216. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01216>
- Aleksandrowicz A., Carolak E., Dutkiewicz A., Błachut A., Waszczuk W., Grzymajko K. Better together – salmonella biofilm-associated antibiotic resistance. *Gut Microbes*. 2023; 15(1): 2229937. <https://doi.org/10.1080/19490976.2023.2229937>
- Koskeroglu K., Barel M., Hizlisoy H., Yildirim Y. Biofilm formation and antibiotic resistance profiles of water-borne pathogens. *Res. Microbiol.* 2023; 174(5): 104056. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2023.104056>
- Fan J., Li G., Deng S., Deng C., Wang Z., Zhang Z. Effect of carbon nanotube and styrene-acrylic emulsion additives on microstructure and mechanical characteristics of cement paste. *Materials (Basel)*. 2020; 13(12): 2807. <https://doi.org/10.3390/ma13122807>
- Rather M.A., Gupta K., Mandal M. Microbial biofilm: formation, architecture, antibiotic resistance, and control strategies. *Braz. J. Microbiol.* 2021; 52(4): 1701–18. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00624-x>
- Stefan D.S., Bosomoiu M., Teodorescu G. The behavior of polymeric pipes in drinking water distribution system-comparison with other pipe materials. *Polymers (Basel)*. 2023; 15(19): 3872. <https://doi.org/10.3390/polym15193872>
- Zhang X., Lin T., Jiang F., Zhang X., Wang S., Zhang S. Impact of pipe material and chlorination on the biofilm structure and microbial communities. *Chemosphere*. 2022; 289: 133218. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133218>
- Kimbell L.K., Wang Y., McNamara P.J. The impact of metal pipe materials, corrosion products, and corrosion inhibitors on antibiotic resistance in drinking water distribution systems. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2020; 104(18): 7673–88. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10777-8>
- Bialoszewski D., Pietruczuk-Padzik A., Kalicinska A., Bocian E., Czajkowska M., Bukowska B., et al. Activity of ozonated water and ozone against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Med. Sci. Monit.* 2011; 17(11): BR339–44. <https://doi.org/10.12659/msm.882044>
- Li J., Ren A., van der Mark E., Liu G. Direct evidence of microbiological water quality changes on bacterial quantity and community caused by plumbing system. *J. Environ. Sci. (China)*. 2022; 116: 175–83. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.04.028>
- Lin W., Zhao K., Wu Q., Xu F., Cui L., Lin H., et al. Biofilms on pipelines shape the microbiome and antibiotic resistome in drinking water. *Water Res.* 2025; 274: 123136. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123136>
- Alekseeva A.V., Savostikova O.N., Mamonov R.A. Methodical issues of assessment of possibility of application in drinking water supply of polymeric materials. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2019; 10(2): 263–7. <https://elibrary.ru/uyvsgo> (in Russian)
- Learbuch K.L.G., Smidt H., van der Wielen P.W.J.J. Water and biofilm in drinking water distribution systems in the Netherlands. *Sci Total Environ.* 2022; 831: 154940. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154940>
- Im H.R., Im S.J., Nguyen D.V., Jeong S.P., Jang A. Real-time diagnosis and monitoring of biofilm and corrosion layer formation on different water pipe materials using non-invasive imaging methods. *Chemosphere*. 2024; 361: 142577. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142577>
- Almatroudi A. Investigating Biofilms: Advanced Methods for Comprehending Microbial Behavior and Antibiotic Resistance. *Front Biosci (Landmark Ed)*. 2024; 29(4): 133. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2904133>
- Reis-Teixeira F.B.D., Alves V.F., de Martinis E.C.P. Growth, viability and architecture of biofilms of *Listeria monocytogenes* formed on abiotic surfaces. *Braz J Microbiol.* 2017; 48(3): 587–91. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.01.004>

Сведения об авторах

Алексеева Анна Венидиктовна, канд. мед. наук, начальник отд. гигиены, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru

Рахманин Юрий Анатольевич, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, гл. науч. сотр. ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: awme@mail.ru

Стратан Габриэлла Сергеевна, лаборант отд. гигиены «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: GStratan@cspfmbr.ru

Information about authors

Anna V. Alekseeva, PhD (Medicine), head, Department of hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0422-8382> E-mail: AAlekseeva@cspmrz.ru.

Yuriy A. Rakhmanin, DSc (Medicine), professor, academician of the RAS, chief researcher, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014> E-mail: awme@mail.ru

Gabriella S. Stratan, laboratory assistant, Department of hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0001-5721-4531> E-mail: GStratan@cspfmbr.ru