



Читать
онлайн
Read
online

Загайнова А.В.¹, Журавлёв П.В.², Морозова М.А.², Седова Д.А.², Грицюк О.В.¹,
Панькова М.Н.¹, Федец З.Е.¹, Новожилов К.А.¹, Юдин С.М.¹

Барьерная роль очистных сооружений в обеззараживании сточных вод в отношении *E. coli*, обобщённых и общих колиформных бактерий

¹ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия;

²ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Федеральной службы по надзору
в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 344000, Ростов-на-Дону, Россия

Введение. Работа посвящена оценке результатов собственных исследований санитарно-микробиологического загрязнения сточных вод городов Москвы, Ростова-на-Дону, Азова, Цимлянска и анализу данных литературы в целях обоснования перечня приоритетных контролируемых санитарно-микробиологических показателей безопасности обеззараженных сточных вод, допустимых к сбросу в поверхностные водные объекты.

Материалы и методы. Проводили исследования сточной воды до и после поступления на очистные сооружения в течение трёхлетнего периода, включающие обнаружение обобщённых и общих колиформных бактерий, санитарно-показательных микроорганизмов, клебсиелл, синегнойных палочек, сальмонелл и их идентификацию с применением метода MALDI-TOF, определение биохимических и серологических свойств.

Результаты. Поступающие на очистные сооружения сточные воды изученных городов имеют высокую степень обсеменённости по обобщённым и общим колиформным бактериям, сальмонеллам, интенсивность загрязнения по которым на этапе сброса в поверхностные водные объекты находилась в допустимых в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 пределах. Количество обобщённых колиформных бактерий превышало число общих колиформных бактерий как в водах, поступающих на обеззараживание, так и на этапах очистки и поступления в поверхностные воды, также выявлена их корреляция с потенциально патогенными бактериями (ППБ) и патогенными сальмонеллами в отличие от общих (лактозоположительных) колиформных бактерий.

Ограничения исследования. В рамках проведённого исследования все выделенные штаммы идентифицированы и сохранены для изучения биологических, генетических свойств с учётом этапов очистки, что станет предметом дальнейших исследований.

Заключение. Установлено, что показатель «обобщённые колиформные бактерии» сохранил свою индикаторную значимость в отношении патогенных бактерий *Salmonella* spp. и позволил адекватно оценить уровни бактериального загрязнения сточных вод. При этом экономические затраты на определение показателя «обобщённые колиформные бактерии» не отличаются от затрат на определение показателей «общие колиформные бактерии» и *E. coli*. Поэтому для наиболее адекватной оценки обеззараживания сточных вод очистных сооружений целесообразно использовать обобщённые колиформные бактерии как интегральный показатель бактерий порядка *Enterobacteriales*.

Ключевые слова: сточные воды; поверхностные воды; очистные сооружения; общие колиформные бактерии; обобщённые колиформные бактерии; клебсиеллы; *E. coli*; синегнойные палочки; сальмонеллы

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Загайнова А.В., Журавлёв П.В., Морозова М.А., Седова Д.А., Грицюк О.В., Панькова М.Н., Федец З.Е., Новожилов К.А., Юдин С.М. Барьерная роль очистных сооружений в обеззараживании сточных вод в отношении *E. coli*, обобщённых и общих колиформных бактерий. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(5): 479–486. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-479-486>

Для корреспонденции: Загайнова Анжелика Владимировна, зав. лаб. микробиологии и паразитологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: AZagaenova@cspmtz.ru

Участие авторов: Загайнова А.В. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, написание текста, редактирование; Журавлёв П.В. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, написание текста, редактирование; Морозова М.А. – статистическая обработка; Седова Д.А. – статистическая обработка, написание текста, редактирование; Грицюк О.В. – сбор материала; Панькова М.Н. – сбор и обработка материала; Федец З.Е. – сбор и обработка материала; Новожилов К.А. – сбор материала; Юдин С.М. – редактирование. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование проведено в рамках НИР «Разработка унифицированных методов, включающих отбор проб, для осуществления определения микробиологического и паразитологического загрязнения сточных вод» (шифр «Сточные воды») АААА-А21-121011190012-3.

Поступила: 01.03.2022 / Принята к печати: 12.04.2022 / Опубликована: 31.05.2022

Angelika V. Zagaynova¹, Petr V. Zhuravlev², Marina A. Morozova², Darya A. Sedova², Olga V. Gritsyuk¹, Marina N. Pankova¹, Zlata E. Fedez¹, Konstantin A. Novozhilov¹, Sergey M. Yudin¹

Barrier role of wastewater treatment in wastewater disinfection with respect to *E. Coli*, generalized and total coliform bacteria

¹Centre for Strategic Planning of FMBA of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation;

²Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology, Rostov-on-Don, 344010, Russian Federation

Introduction. The work is devoted to the evaluation of the results of own studies of sanitary and microbiological pollution of wastewater in the cities of Moscow, Rostov-on-Don, Azov, Tsimlyansk and the analysis of literature data to justify the list of priority controlled sanitary and microbiological indicators of the safety of decontaminated wastewater that can be discharged into surface water bodies.

Materials and methods. Wastewater was studied before and after entering the treatment plant over a 3-year period, including the determination of generalized and total coliform bacteria, sanitary indicative microorganisms, *Klebsiella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* and their identification using the MALDI-TOF method and biochemical and serological properties.

Results. The sewage waters of the studied cities entering the treatment facilities have a high degree of contamination by generalized and common coliform bacteria, salmonella, the intensity of pollution for which was within acceptable limits at the stage of discharge into surface water bodies according to SanPiN 1.2.3685-21. The number of generalized coliform bacteria exceeded the number of general coliform bacteria, both entering for disinfection and at the stages of purification and entry into surface waters, and their correlation with potentially pathogenic bacteria (PPB) and pathogenic salmonella, in contrast to total (lactose-positive) coliform bacteria, was revealed.

Limitations. In the framework of the study, all isolated strains were identified and stored for the study of biological, genetic properties, taking into account the stages of purification, which will be the subject of further research.

Conclusion. The index of generalized coliform bacteria retained its indicator significance in relation to pathogenic bacteria *Salmonella* spp. and made it possible to adequately assess the levels of bacterial contamination of wastewater. At the same time, the economic costs of determining the indicator of generalized bacteria do not differ from the costs of determining the indicators of common coliform bacteria and *E. coli*. Therefore, for the most adequate assessment of the disinfection of wastewater from treatment facilities, it is advisable to use generalized coliform bacteria as an integral indicator of *Enterobacteriales* bacteria.

Keywords: wastewater; surface water; sewage treatment plant; common coliform bacteria; generalized coliform bacteria; *Klebsiella*; *E. coli*; salmonella

Compliance with ethical standards. Research does not require the submission of a biomedical ethics committee opinion or other documents.

For citation: Zagaynova A.V., Zhuravlev P.V., Morozova M.A., Sedova D.A., Gritsyuk O.V., Pankova M.N., Fedez Z.E., Novozhilov K.A., Yudin S.M. Barrier role of wastewater treatment in wastewater disinfection with respect to *E.coli*, generalized and total coliform bacteria. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(5): 479-486. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-479-486> (In Russian)

For correspondence: Angelika V. Zagaynova, Head of the laboratory of Microbiology and Parasitology laboratory of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: AZagaenova@cspmpz.ru

Information about authors:

Zagaynova A.V., <https://orcid.org/0000-0003-4772-9686> Zhuravlev P.V., <https://orcid.org/0000-0002-8196-3882> Morozova M.A., <https://orcid.org/0000-0003-2017-9717> Sedova D.A., <https://orcid.org/0000-0003-1194-7251> Gritsyuk O.V., <https://orcid.org/0000-0001-9728-3075> Pankova M.N., <https://orcid.org/0000-0002-9133-3665> Fedez Z.E., <https://orcid.org/0000-0002-2396-9231>

Contribution: Zagaynova A.V. – research concept and design, statistical processing, text writing, editing. Zhuravlev P.V. – study concept and design, statistical processing, text writing, editing. Morozova M.A. – statistical processing. Sedova D.A. – statistical processing, text writing, editing. Gritsyuk O.V. – collection of material. Pankova M.N., Fedez Z.E. – collection and processing of material. Novozhilov K.A. – collection of material. Yudin S.M. – editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Acknowledgment. The research was carried out within the framework of the research work “Development of unified methods, including sampling, for the determination of microbiological and parasitological contamination of wastewater” (code “Wastewater”) No. 145.001.21.6 dated 12.11.2021.

Received: March 1, 2022 / Accepted: April 12, 2022 / Published: May 31, 2022

Введение

В последние десятилетия из-за массового сброса в водные объекты неочищенных и недостаточно очищенных хозяйственно-бытовых, промышленных и сельскохозяйственных сточных вод (СТВ), содержащих большое количество микроорганизмов, ухудшается качество воды поверхностных водоисточников, в том числе возрастает уровень загрязнения потенциально патогенными и патогенными бактериями, вирусами и паразитами [1, 2]. В связи с развитием ряда отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспортной инфраструктуры и других видов антропогенной деятельности очистка СТВ является одной из наиболее актуальных проблем. Сброс неочищенных или недостаточно очищенных СТВ остаётся основной причиной возникновения чрезвычайных экологических ситуаций, вызванных периодическим накоплением в водной среде около 11 млн тонн загрязняющих веществ, следовательно, информация о бактериальном загрязнении гидросферы представляет особый интерес.

Свыше 72% (13,8 км³) СТВ, подлежащих очистке, сбрасываются в водные объекты недостаточно очищенными, 17% (3,4 км³) – загрязнёнными, без очистки. На территории Российской Федерации (РФ) зафиксировано около 6 тыс. участков техногенного загрязнения подземных вод, в основном на территории Приволжского, Сибирского и Центрального федеральных округов. Большинство участков загрязнения подземных вод с I классом опасности загрязняющих веществ («чрезвычайно опасный») выявляется в районах размещения крупных промышленных предприятий [3]. Анализ материалов государственных докладов «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации» за 2000–2020 гг. показал, что общий объём СТВ, сброшенных в поверхностные водные объекты, в 2020 г. из расчёта на душу населения составил 80 м³ (2005 г. – 50,9 м³). К категории загрязнённых в 2015 г. отнесено 14,4 км³ СТВ, из них без очистки – 3,11 км³; в 2005 г. – 17,7 км³, из которых 3,4 км³ – без очистки. Динамика сброса в поверхност-

ные водные объекты загрязнённых СТВ в 2005–2020 гг. имела неравномерный характер, но в целом за 15 лет объём сбрасываемых загрязнённых СТВ, в том числе и без очистки, снизился в 1,4 раза. При этом качественной очистке подвергаются в среднем 60% СТВ [3].

Сброс СТВ в районе их выпуска формирует непосредственную эпидемическую опасность, обусловленную бактериальным фоном и большим количеством биогенных элементов, одним из основных компонентов которых является фосфор, служащий источником питания для дополнительного развития различной микрофлоры [4]. Большинство очистных сооружений в нашей стране спроектированы и построены приблизительно 40 лет назад, поэтому они не в состоянии обеспечить качество очистки СТВ на уровне современных требований и прежде всего в отношении биогенных элементов. Влияние фосфора как биогенного вещества на санитарно-эпидемиологическое состояние водоёмов и источников водоснабжения общеизвестно, поскольку именно этот элемент признан лимитирующим фактором эвтрофикации [5], в результате которой происходит нарастание бактериальной обсеменённости водоёмов, что приводит к ухудшению физиологического состояния рыб, а в ряде случаев является причиной болезней и заморов [6, 7]. Преобладающим источником поступления соединений фосфора в водоёмы являются хозяйственно-бытовые СТВ [5, 8]. Хозяйственно-бытовые СТВ составляют более 80% от производственных, сельскохозяйственных, ливневых, дренажных и других СТВ, поэтому представляют наибольший интерес с экологической точки зрения. В каждой из категорий имеются свои загрязняющие элементы, требующие соответствующих методов очистки.

Основным загрязнителем воды остаются отходы человеческой жизнедеятельности, при попадании в канализацию с которыми инфекционные агенты не погибают самостоятельно.

Важнейшей задачей очистных сооружений СТВ является предотвращение возможного распространения кишечных инфекций посредством воды. Эффективность работы станций полной биологической очистки СТВ по удалению бактериальных загрязнений обычно составляет 90–95%. Однако установлено, что бактериальный состав СТВ изменяют различные микробные сообщества принимающих экосистем, таких как большие озёра [9], ручьи или реки [10], а также заливы, моря или океаны [11].

Необходимо подчеркнуть высокую адаптационную способность к выживанию в СТВ и осадках СТВ потенциально патогенных микроорганизмов. Потенциальная эпидемическая опасность водных объектов в отношении заболеваний бактериальными инфекциями определяется сроками сохранения жизнеспособности бактерий. Основными движущими факторами могут быть повышенные уровни питательных и концентрации опасных химических веществ и бактериальных патогенов, которые персистируют в водоёмах непосредственно из СТВ после их очистки [9, 11]. Кроме того, СТВ после очистки могут способствовать повышению концентрации бактерий – индикаторов фекального загрязнения, а также вирулентных штаммов *E. coli* и *Aeromonas* spp. [12, 13]. Распространение патогенных аэромонад, синегнойных палочек и других автохтонных экологических патогенов связано с различными факторами окружающей среды, особенно с уровнем питательных веществ или эвтрофными условиями [4, 14, 15].

Присутствие кишечных патогенов в основном связано с фекальным загрязнением [16]. Эти патогены не могут легко размножаться *in vitro*, но могут выживать в течение длительного времени при некоторых благоприятных условиях [15, 17]. Недавние исследования подтвердили, что выживание некоторых бактерий, таких как *Pseudomonas aeruginosa* и *Legionella pneumophila*, инициирует рост вспышек заболеваний [17, 18]. Анализ данных государственных

докладов о санитарно-эпидемическом состоянии воды водоисточников на территории отдельных субъектов РФ за 2004–2020 гг. также показал существенную роль потенциально патогенных бактерий (ППБ) в возникновении вспышек острых кишечных инфекций (ОКИ) установленной этиологии. В 2004 г. заболеваемость, вызванная ППБ, составила 10,8%; в 2006 г. – 6,6%; в 2007 г. – 7,7%. Несмотря на общее снижение заболеваемости ОКИ в 2020 г., наиболее высокий удельный вес (> 90%) имели ОКИ неустановленной этиологии. В последние десятилетия увеличивается число инфекционных заболеваний, вызванных ППБ: *Enterobacter*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa* и др., представляющими большую опасность для лиц с ослабленной антиинфекционной устойчивостью [3]. Загрязнение водоёма неочищенными или недостаточно очищенными СТВ в зоне рекреации означает потенциальную эпидемическую опасность для купающихся [19]. Можно предположить, что из-за низкого уровня внедрения в практику современных методов лабораторных исследований отмечалась значительная доля диагнозов ОКИ, ассоциированных с условно патогенной микрофлорой – в 2020 г. (> 20%) [3].

Состав хозяйственно-бытовых СТВ, как правило, характеризуется выраженным бактериальным и паразитарным загрязнением [20]. Под воздействием загрязнённых СТВ, не соответствующих гигиеническим требованиям, в водных объектах происходит существенное нарушение количественных соотношений между индикаторной и потенциально патогенной микрофлорой, при котором наблюдается селекция хлоростойчивых штаммов из популяции индикаторных и ППБ [9]. ППБ (особенно клебсиеллы и синегнойные палочки) наиболее показательны для вод, подвергающихся дезинфекционной обработке. Поступающая в водоёмы со сточными водами потенциально патогенная микрофлора, как правило, является устойчивой к отдельным антибиотикам, а иногда и обладает множественной резистентностью к лекарственным препаратам [21–23]. Показано, что СТВ содержат значительное количество антибиотикоустойчивых штаммов бактерий, среди которых мультирезистентностью отличались клебсиеллы, синегнойные палочки, аэромонады и протеи [24]. СТВ и поверхностные слои воды образуют резервуар для антибиотикорезистентных бактерий, что приводит к распространению их в воде рек, а также к проникновению в водопроводную сеть [25, 26].

При проведении исследований авторы руководствовались требованиями ст. 30.1. «Обеспечение требований к составу сточных вод, сбрасываемых абонентами в централизованные системы водоотведения (канализации)» Федерального закона от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ (ред. от 25.12.2018 г.) «О водоснабжении и водоотведении» (введена Федеральным законом от 29.07.2017 г. № 225-ФЗ). Определяли научно обоснованные и гармонизированные с международными требованиями санитарно-микробиологические показатели безопасности качества воды, которые включены в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (раздел III «Нормативы качества и безопасности воды»): обобщённые колиформные бактерии и *E. coli* [27, 28]. Также определяли показатели, нормируемые в отменённом СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод», была проведена сравнительная оценка, валидированы методы определения нормируемых показателей, которые в настоящее время в методической базе для оценки качества сточных вод отсутствуют.

Цель работы – оценка барьерной роли очистных сооружений в обеззараживании сточных вод в отношении *E. coli*, обобщённых и общих колиформных бактерий.

Таблица 1 / Table 1
Интенсивность загрязнения городских сточных вод по микробиологическим показателям за весь период наблюдения (средние значения)
Intensity of urban wastewater pollution by microbiological indicators for the entire observation period (average values)

Место отбора Sampling area	Период, годы Period	Индексы колиформных бактерий, КОЕ/100 (Indices of coliform bacteria, CFU/100)												Сальмонеллы, НВЧ/1000 Salmonella, НСЧ/1000	
		общие Total		обобщённые Generalized		<i>Klebsiella</i>		санитарно-показательные, в том числе <i>E. coli</i> Sanitary-indicative, including <i>E. coli</i>							
		ДО	ПО	ДО	ПО	ДО	ПО	ДО	ПО	ДО	ПО	ДО	ПО		
Ростов-на-Дону Rostov-on-Don	2005–2006	131 186 894 ± 37 611 485	48 ± 14	318 121 734 ± 77 953 814	204 ± 56	174 019 325 ± 53 811 304	76 ± 18	1 163 527 ± 573 441	19 ± 6	6704 ± 1824	Н.о.				
	2009–2010	192 418 246 ± 56 782 505	773 ± 86	404 741 288 ± 97 137 548	916 ± 113	374 480 532 ± 88 125 735	811 ± 97	2 717 686 ± 447 815	49 ± 14	5528 ± 1426	Н.о.				
	2015–2016	251 544 386 ± 61 189 276	542 ± 16	617 311 423 ± 113 257 642	813 ± 45	412 375 236 ± 83 745 598	447 ± 76	3 467 667 ± 748 553	84 ± 36	5814 ± 1485	Н.о.				
Азов Azov	2005–2006	96 417 311 ± 31 526 914	424 ± 88	122 247 317 ± 40 318 456	712 ± 105	101 218 567 ± 34 811 228	551 ± 136	864 911 ± 215 397	21 ± 6	1472 ± 311	Н.о.				
	2012–2013	122 264 056 ± 43 819 347	264 ± 54	285 632 517 ± 57 737 805	453 ± 96	122 718 204 ± 32 386 275	446 ± 95	717 234 ± 203 333	29 ± 7	1353 ± 327	Н.о.				
	2016–2017	233 792 456 ± 64 508 712	77 ± 26	312 403 758 ± 26 812 106	396 ± 93	275 195 625 ± 52 014 915	149 ± 35	927 378 ± 193 296	15 ± 2	1317 ± 256	Н.о.				
Цимлянск Tsimlyansk	2006–2007	14 307 963 ± 4 572 244	2725 ± 834	22 114 371 ± 57 128 511	5718 ± 1333	11 560 325 ± 3 817 225	4501 ± 744	215 915 ± 61 325	27 ± 6	1015 ± 324	Н.о.				
	2010–2012	11 236 425 ± 2 563 814	1 347 536 ± 352 837	20 817 258 ± 4 514 466	4 119 186 ± 738 422	14 027 518 ± 3 872 954	2 714 533 ± 515 487	179 010 ± 34 782	89 972 ± 21 311	784 ± 214	472 ± 136				
	2015–2016	24 421 783 ± 711 864	4 538 427 ± 869 573	26 736 823 ± 4 877 914	5 409 635 ± 816 174	25 303 258 ± 3 870 684	5 047 803 ± 854 725	236 014 ± 62 317	98 547 ± 22 633	820 ± 246	633 ± 215				

Примечание. ДО – до очистки; ПО – после очистки; Н.о. – не обнаружено.
Note. PO – after cleaning; DO – before cleaning; Н.о. – not detected.

Материалы и методы

Проведены исследования СТВ, поступающих на очистные сооружения, и прошедшие обеззараживание перед сбросом в поверхностные водоёмы, в Москве, Ростове-на-Дону, Азове и Цимлянске. Периоды исследования: 2005–2006, 2009–2010, 2015–2016, 2019–2021 гг. Определяли содержание обобщённых колиформных бактерий, общих колиформных бактерий, клебсиелл, сальмонелл, *E. coli*.

Исследования на наличие санитарно-показательных микроорганизмов в воде поверхностных водоёмов проводили в соответствии с МУК 4.2.1884-04 «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов».

В связи с тем, что эпидемический потенциал воды в основном определяется количественным содержанием микроорганизмов, способных вызывать заболевания, проводили количественный анализ исследуемых бактерий титрационным методом с использованием ингибиторных и умеренно ингибиторных сред подрашивания в соответствии с Методическими рекомендациями МР № 01-19/98-17 «Усовершенствованный метод обнаружения энтеробактерий и неферментирующих грамотрицательных микроорганизмов в объектах водной среды» (Ростов-на-Дону, 1996). Идентификацию микроорганизмов, в том числе клебсиелл, проводили согласно Методическим рекомендациям МР «Обнаружение и количественный учёт клебсиелл при целевых исследованиях объектов окружающей среды» (М., 1982), идентификацию синегнойных палочек – согласно Методическим рекомендациям МР «Обнаружение и идентификация *Pseudomonas aeruginosa* в объектах окружающей среды (пищевых продуктах, воде, сточных жидкостях)» (М., 1984). Также применяли автоматизированные системы, предназначенные для исследования методом времяпролётной матрично-ассоциированной лазерной масс-спектрометрии, на платформе MALDI-TOF. В основе метода лежит изучение масс-спектров рибосомальных белков в диапазоне 1000–10 000 дальтон и биоинформационного сравнения полученного спектра с базой данных референтных спектров и данных секвенирования микроорганизмов.

Обобщённые колиформные бактерии определяли по ГОСТ 18963-73 «Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа» и ГОСТ 34786-2021 «Вода питьевая. Методы определения общего числа микроорганизмов, колиформных бактерий, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и энтерококков».

Результаты

Поступающие на очистные сооружения сточные воды изучаемых городов имеют высокую степень обсеменённости по определяемым показателям (обобщённые и общие колиформные бактерии, сальмонеллы). В то же время интенсивность загрязнения сточных вод по этим показателям для городских стоков находилась в пределах, предусмотренных МУ 2.1.5.800-99 (табл. 1).

Эпидемический потенциал воды определяется наличием инфекционных агентов, которыми могут являться патогенные энтеробактерии – сальмонеллы.

Исследование СТВ канализации Ростова-на-Дону показало, что сальмонеллы присутствовали во всех пробах (100%), при этом средний индекс сальмонелл составил $6015,6 \pm 1310,2$ КОЕ/100 мл. В канализационных стоках Азова положительными на сальмонеллы оказались все пробы, индекс сальмонелл в среднем составил $1380,6 \pm 459,5$ КОЕ/1000 мл. В пробах СТВ Цимлянска сальмонеллы обнаруживали с помощью специальной среды в 76,7% проб со средним индексом $873,4 \pm 217,8$ КОЕ/1000 мл.

Сальмонеллёзный пейзаж представлен разными сероварами с преобладанием сальмонелл групп В и С, из выделенных штаммов наиболее часто встречались *S. typhimurium*, *S. london*, *S. essen* и *S. enteritidis*.

Таблица 2 / Table 2

Динамика процесса дезактивации на этапах обеззараживания на станциях аэрации в Ростове-на-Дону и Азове
Dynamics of the decontamination process at the Canadian Biosafety Standards (CBS) stages in Rostov-on-Don and Azov

Этап очистки Stages of cleaning	Место отбора Sampling area	Степень очистки колиформных бактерий, % Degree of purification of coliform bacteria, %		
		обобщённых / generalized	общих / general	<i>Salmonellas</i>
1-й – первичные отстойники 1 st primary settling tanks	Ростов-на-Дону / Rostov-on-Don	67.7	79.3	97.7
	Азов / Azov	72.3	78.8	98.1
2-й – биореактор 2 nd bioreactor	Ростов-на-Дону / Rostov-on-Don	98.2	99.98	99.4
	Азов / Azov	97.8	98.3	99.7
3-й – канал очищенной воды 3 rd purified Water Channel	Ростов-на-Дону / Rostov-on-Don	99.99	99.99	100
	Азов / Azov	99.99	99.99	100

Эффективность работы очистных сооружений определяется согласно нормативам, изложенным в МУ 2.1.5.800-99, где по микробиологическим показателям критериями оценки качества обеззараживания СТВ, отводимых в водные объекты, являются индикаторные микроорганизмы (общие колиформные бактерии) и возбудители кишечных инфекций – сальмонеллы.

Исследования показали, что качество СТВ после прохождения комплекса очистки не всегда соответствовало установленным критериям по бактериологическим показателям. Это связано с временными нарушениями работы одного или нескольких звеньев системы очистки вод на очистных сооружениях.

СТВ после обработки на очистных сооружениях соответствовала МУ 2.1.5.800-99 в Ростове-на-Дону в 2005–2006 гг., в Азове – в 2015–2016 гг.

Следует подчеркнуть, что уровень загрязнения очищенных и обеззараженных СТВ по нормируемым санитарно-бактериологическим показателям в большинстве случаев лишь незначительно превышал установленные нормативы: в Ростове-на-Дону это происходило в 2009–2010 и 2015–2016 гг., в Азове – в 2005–2006 и 2012–2013 гг., в Цимлянске – в 2006–2007 гг. (табл. 2). При этом СТВ после прохождения очистных сооружений по нормируемым бактериологическим показателям (общие колиформные бактерии и сальмонеллы) соответствовала установленным требованиям.

В Цимлянске в 2010–2012 и 2015–2016 гг. после прохождения очистных сооружений обеззараживания и очищения СТВ практически не наблюдалось, в том числе и от сальмонелл. Это было связано с неполным функционированием технологического процесса водообработки из-за нерабочего состояния биофильтров в системе очистных сооружений канализации.

Изучение процесса обеззараживания СТВ от ППБ показало хорошую динамику на очистных сооружениях городов, рассматриваемых в настоящей работе. Исключением является Цимлянск, где из-за нарушения работы одного из звеньев системы водообработки в 2010–2012 и 2015–2016 гг. очистные СТВ от ППБ было незначительным. Стоит отметить, что зачастую количество клебсиелл превышало количество общих колиформных бактерий, являющихся индикатором бактериального загрязнения, что снижало их санитарно-показательную роль.

Особый интерес вызывает процесс обеззараживания СТВ на очистных сооружениях в отношении обобщённых колиформных бактерий. Известно, что глюкозоположительные колиформные бактерии более устойчивы в водной среде, чем лактозоположительные. Поэтому количество обобщённых колиформных бактерий превышает общее число колиформных бактерий как в нативной сточной воде, так и на этапах очистки и после полной обработки. Анализ динамики процесса обеззараживания изучаемых бактерий показал, что наибольшая корреляция наблюда-

лась у ППБ с обобщёнными колиформными бактериями, а не с общими колиформными бактериями. Поэтому для наиболее адекватной оценки обеззараживания СТВ очистных сооружений целесообразно использовать обобщённые колиформные бактерии как интегральный показатель бактерий порядка *Enterobacteriales*. Данный показатель вошёл в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» как «обобщённые колиформные бактерии».

В СТВ, прошедшей обработку на очистных сооружениях Ростова-на-Дону и Азова, патогенные энтеробактерии (сальмонеллы) не регистрировались (см. табл. 2).

Анализ процесса обеззараживания на этапах водообработки очистных сооружений Ростова-на-Дону и Азова показал степень важности каждого рассматриваемого этапа технологического процесса очистки. Также следует отметить схожую динамику снижения количества общих, обобщённых колиформных бактерий и патогенных бактерий (сальмонелл) в процессе очистки СТВ на очистных сооружениях вышеуказанных городов.

Для определения циркуляции обобщённых, общих колиформных бактерий, клебсиелл, *E. coli*, патогенных бактерий *Salmonella* проведены микробиологические исследования СТВ, поступающих на очистные сооружения и прошедших этап обеззараживания на станциях аэрации Москвы – Курьяновской, Люберецкой и Зеленоградской (табл. 3).

Все хозяйственно-бытовые и промышленные СТВ городской системы канализации Москвы проходят полный цикл очистки на Курьяновских, Люберецких, Южнобутовских и Зеленоградских очистных сооружениях.

Самыми крупными в Европе являются Курьяновские очистные сооружения (КОС), включающие в себя механическую очистку и затем полную биологическую очистку в аэротенках с помощью активного ила при аэрировании, откуда иловая смесь поступает во вторичные отстойники, где происходит процесс разделения активного ила и очищенной воды, а на последнем этапе осуществляют ультрафиолетовое обеззараживание очищенных стоков перед сбросом в водосбросный канал, сообщаемый с рекой Москвой.

На территории Зеленоградской станции аэрации происходит удаление соединений азота и фосфора, осуществляется механическое обезвоживание осадка – избыточного активного ила, что исключает передачу образующихся осадков в систему городской канализации.

Люберецкие очистные сооружения (ЛОС) работают по традиционной технологической схеме полной биологической очистки, при которой процессы сродни самоочищению в естественных водоёмах – реках и озёрах, однако скорость процессов многократно увеличена благодаря специально разработанным технологиям. Комплекс ЛОС, особенностью которого является блок удаления биогенных элементов, где происходит глубокое удаление азота

Таблица 3 / Table 3

Интенсивность загрязнения по микробиологическим показателям (КОЕ/100 мл) городских сточных вод г. Москвы в период 2019–2021 гг., $M \pm m$

The intensity of pollution of urban wastewater in Moscow in the period from 2019–2021 by microbiological indicators (CFU/100 mL) for the entire observation period, $M \pm m$

Сточные воды (СТ) Wastewater (WW)	Колиформные бактерии, $M \pm m$ / Coliform bacteria, $M \pm m$			Патогенная бактерия <i>Salmonella</i> (обнаружено/не обнаружено) Pathogenic <i>Salmonella</i> bacteria (detected/not detected)
	обобщённые generalized	общие general	<i>E. coli</i>	
<i>Курьяновская станция / Kuryanovskaya station</i>				
СТ, поступающие на Курьяновские очистные сооружения WW coming to Kuryanovsk treatment facilities	10 333 500 ± 4 882 674	9 405 000 ± 637 358	36 500 ± 17 255	Обнаружено Detected
СТ, поступающие на Новокурьяновские очистные сооружения WW incoming to the Novokurianovsk treatment facilities	23 350 000 ± 3 493 685	19 350 000 ± 5 060 221	42 500 ± 23 771	Обнаружено Detected
СТ после обеззараживания WW after disinfection	413 ± 34	100 ± 4	35 ± 4	Не обнаружено Not detected
<i>Зеленоградская станция / Zelenograd station</i>				
Поступающие СТ Incoming	37 080 000 ± 31 766 057	36 898 000 ± 31 806 740	273 400 ± 150 717	Обнаружено Detected
СТ после обеззараживания After disinfection	387 ± 19	90 ± 6	70 ± 6	Не обнаружено Not detected
<i>Люберецкая станция / Lyubertskaia station</i>				
СТ, поступающие на Люберецкие очистные сооружения WW incoming to the Lyubertsy treatment facilities	6 068 500 ± 4 467 209	350 000 ± 225 019	207 000 ± 96 914	Не обнаружено Not detected
СТ, поступающие на Новолуберецкие очистные сооружения WW incoming Novolubertsy treatment facilities	6 275 000 ± 5 381 740	3 125 000 ± 2 463 018	528 500 ± 161 848	Не обнаружено Not detected
СТ на этапе очистки после обеззараживания УФО WW at the stage of purification after disinfection of UFI	300 ± 29	100 ± 15.3	95 ± 15	Не обнаружено Not detected
СТ, Сбросной канал, выпуск № 3 WW, Discharge channel, issue No. 3	450 ± 28	100 ± 5.2	96 ± 30	Не обнаружено Not detected

и фосфора, блока ультрафиолетового обеззараживания, состоит из трёх самостоятельно функционирующих блоков по очистке СТВ: старая станция (ЛОСст) и Новолуберецкие очистные сооружения (НЛОС).

Установлено снижение практически на 3–4 lg уровня загрязнения по обобщённым и общим колиформным бактериям, *E. coli* сточной воды, поступающей на старую Курьяновскую (КОС) и новую Курьяновскую (НКОС) станции аэрации, Зеленоградскую, Люберецкие (ЛОСст и НЛОС) станции, в результате её обеззараживания.

На входе на Курьяновскую и Зеленоградскую станции аэрации выделены патогенные бактерии *Salmonella*, которые на выходе не обнаружены.

В исследованных пробах СТВ выделены и идентифицированы следующие микроорганизмы: *Salmonella enteritidis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella varicola*, *Enterobacter cloacae*, *E. coli*, *Citrobacter freundii*, *Citrobacter braakii*.

Тенденция снижения на 2–3 lg всех индикаторных бактерий, в том числе обобщённых и общих колиформных бактерий, *E. coli*, выявлена на всех этапах очистки СТВ, осуществляемой всеми станциями аэрации г. Москвы.

На первых этапах очистки СТВ выделена *Salmonella enteritidis*, которая также сохраняла устойчивость при дефосфотации, нитрификации/денитрификации, доочистке на фильтрах Зеленоградской станции аэрации, однако после блока УФО установлено снижение на 3–4 lg уровня микробного загрязнения по сравнению с начальным (на

этапе поступления на очистные сооружения). Синегнойная палочка появляется только в обводном канале и указывает также на вторичное размножение и биообрастание, что требует проведения дополнительного исследования на выявление застойных или тупиковых точек, в которых происходит вторичное размножение недообеззараженных бактерий.

Обсуждение

Проведено изучение обеззараживания СТВ в Москве, Ростове-на-Дону, Азове и Цимлянске, которое является одним из важнейших этапов предотвращения экологического нарушения водной экосистемы и возможного распространения через воду кишечных инфекций.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о высокой степени контаминации бактериями городских СТВ на станциях аэрации Ростова-на-Дону – 10^8 КОЕ/100 мл, Азова – 10^7 – 10^8 КОЕ/100 мл, Цимлянска СТВ 10^6 – 10^7 КОЕ/100 мл), Курьяновской станции аэрации г. Москвы – 10^7 – 10^8 КОЕ/100 мл, Зеленоградской – 10^7 – 10^8 КОЕ/100 мл, Люберецкой – 10^6 – 10^7 КОЕ/100 мл станций аэрации. В то же время уровень обсеменённости патогенными (сальмонеллы), общими колиформными бактериями и обобщёнными колиформными бактериями, выделенными из СТВ, поступающих на очистные сооружения изучаемых городов, примерно одинаков и укладывался в

пределы, предусмотренные МУ 2.1.5.800-99. Полученные результаты согласуются с данными Шайхутдиновой А.А. [2], Буньковой Е.А. и Евтюхиной К.С. [2, 29].

Изучение эффективности обработки и обеззараживания СТВ подтвердило, что при стандартном наборе очистных сооружений и соблюдении технологического процесса на этапах очистки наблюдается снижение количества общих колиформных бактерий до значений, установленных МУ 2.1.5.800-99, при этом степень очистки достигает 99,99%. Это также совпадает с данными Шайхутдиновой А.А. [29], Буньковой Е.А. и Евтюхиной К.С. [2], показавшими, что степень очистки сточных вод составляет 99,9% по общим колиформным бактериям.

Исследование динамики обеззараживания на этапах очистки в исследуемых городах выявило схожесть результатов по очищению сточной воды от микроорганизмов.

Полученные авторами данные аналогичны приведённым в отечественных и зарубежных публикациях, что свидетельствует о достоверности представленных результатов, а также о сложной эпидемиологической ситуации, связанной с недостаточной очисткой сточных вод и возможным риском дальнейшего распространения микробных и паразитарных патогенов в окружающей природной среде [30, 31].

Убедительным аргументом послужит дальнейшее изучение корреляционных связей и изменения биохимических, биологических свойств, в том числе формирования антибиотикорезистентности, определение генов патогенности и вирулентности ППБ, выделенных на этапах очистки сточных вод. Перечисленные задачи предстоит решить в продолжение настоящего исследования, ограничения которого обусловлены обработкой большого объёма материала за 7-летний период и касались микроорганизмов, выделенных из сточных вод на очистных сооружениях, расположенных в разных климатических зонах.

Заключение

1. В современных условиях обеззараживание городских сточных вод превратилось в комплексную проблему, которую необходимо рассматривать с учётом эпидемиологической, гигиенической, экологической, экономической и технологической составляющих, включая постоянный контроль входящего микробного загрязнения на очистных сооружениях и применение средств обеззараживания (этапы и технологии обеззараживания, УФО с использованием действующих доз).

2. Установлено, что при оптимальном функционировании комплекса обеззараживания на очистных сооружениях качество сточной воды по контролируемым бактериологическим показателям (общие и обобщённые колиформные бактерии, *E. coli*, сальмонеллы) соответствует нормативным документам, применяемым к обеззараженным сточным водам, готовым к сбросу в поверхностные водоёмы.

3. При нарушении работы или в случаях выхода из строя какого-либо звена технологического процесса очистки сточной воды обеззараживания не происходит, что приводит к попаданию патогенных микроорганизмов в открытый водный объект и обуславливает потенциальный риск возникновения бактериальных кишечных инфекций.

4. В результате проведённых исследований установлено, что показатель «обобщённые колиформные бактерии» сохранил свою индикаторную значимость в отношении патогенных бактерий *Salmonella* spp. и позволил адекватно оценить уровни бактериального загрязнения сточных вод. При этом экономические затраты на определение показателя «обобщённые бактерии» не отличаются от затрат на определение таких показателей, как общие колиформные бактерии и *E. coli*, поскольку вместо среды Гисса с лактозой используется среда Гисса с глюкозой.

Литература

(п.п. 6, 11–16, 18–20, 29, 31 см. References)

1. Загайнова А.В., Юдин С.М., Абрамов И.А., Недачин А.Е., Асланова М.М., Лукашина М.В. и др. Определение перечня потенциально патогенных и патогенных микроорганизмов бактериальной, вирусной и паразитарной природы, циркулирующих в сточных и поверхностных водах. *Медицинская паразитология и паразитарные болезни*. 2021; (2): 50–63.
2. Бунькова Е.А., Евтюхина И.С. Анализ эффективности и перспективы развития системы биологической очистки сточных вод (на примере г. Оренбурга). *Вопросы науки и образования*. 2019; (1): 11–6.
3. *О водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года и ФЦП «Вода России»*. М.; 2016.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М.; 2016.
5. Петухова Е.О., Ручкина О.И. Дефосфотация сточных вод. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2017; (2): 123–41.
6. Петров М.П., Шагидуллин Р.Р. Антропогенная нагрузка на водные объекты и проблемы функционирования биологических очистных сооружений. *Георесурсы*. 2011; (2): 14–20.
7. Харьковина О.В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. Волгоград: Панорама; 2015.
8. Журавлёв П.В., Хуторянина И.В., Марченко Б.И. Барьерная роль очистных сооружений канализации в отношении санитарно-показательных и патогенных бактерий, паразитарных агентов на примере южной зоны России. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1070–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1070-1076>
9. Журавлёв П.В., Алешня В.В., Марченко Б.И. Определение дезинфицирующего действия негашёной извести на микрофлору иловых осадков сточных вод очистных сооружений канализации и животноводческих комплексов. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(5): 483–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-483-488>
10. Морозова М.А., Ларцева Л.В. Микробные сообщества гидрозкосистемы Нижнего Дона и Таганрогского залива. *Естественные науки*. 2012; (2): 50–6.
11. Алешня В.В., Журавлёв П.В., Панасовец О.П., Седова Д.А. Экспериментальное изучение влияния активного хлора на патогенные и потенциально патогенные микроорганизмы. *Здоровье населения и среда обитания*. 2018; (10): 17–21.
12. Рахманин Ю.А., Иванова Л.В., Артемова Т.З., Гипп Е.К., Загайнова А.В., Максимкина Т.Н. и др. Распространение бактерий рода *Klebsiella* в водных объектах и их значение в возникновении водно-обусловленных острых кишечных инфекций. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(4): 397–406. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-4-397-406>
13. Журавлёв П.В., Алешня В.В., Панасовец О.П., Артёмова Т.З., Загайнова А.В. Оценка микробного риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путём (на примере городов Ростовской области). *Инфекция и иммунитет*. 2012; 2(1–2): 144.
14. Загайнова А.В., Рахманин Ю.А. Разработка подходов к оценке риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, распространяемых водным путем. *Мир науки, культуры, образования*. 2011; (4–2): 268–73.
15. Седова Д.А., Романовская Ю.А. Ферменты патогенности, чувствительность к антибиотикам и коммерческим препаратам бактериофагов штаммов *Klebsiella pneumoniae*, выделенных из воды Нижнего Дона. В кн.: *Экология родного края: проблемы и пути их решения. Материалы XVI Всероссийской научно-практической с международным участием конференции*. Киров; 2021: 67–70.
16. Журавлёв П.В., Панасовец О.П., Алешня В.В., Казачок И.П., Черногорова Т.Н., Деревякина Е.И. Антибиотикорезистентность бактерий, выделенных из воды открытых водоемов. *Здоровье населения и среда обитания*. 2015; (5): 24–6.
17. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году». М.; 2021.
18. Шайхутдинова А.А., Куksанов В.Ф., Князева А.Н. Исследование эффективности очистки хозяйственно-бытовых сточных вод города Оренбурга. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017; (4): 240–3.
19. Кузнецова К.Ю.К., Кузнецова М.А., Абрамов И.А., Асланова М.М., Мания Т.Р., Сергиев В.П. и др. Эпидемиологическая характеристика и гигиеническая оценка факторов расширения ареалов возбудителей паразитарных заболеваний на территории Российской Федерации. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(9): 894–903. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-894-903>

References

- Zagaynova A.V., Yudin S.M., Abramov I.A., Nedachin A.E., Aslanova M.M., Lukashina M.V., et al. Determination of the list of potentially pathogenic and pathogenic microorganisms of bacterial, viral and parasitic nature circulating in wastewater and surface waters. *Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni*. 2021; (2): 50–63. (in Russian)
- Bunkova E.A., Evtuykhina I.S. Efficiency analysis and prospects for the development of a biological wastewater treatment system (on the example of Orenburg). *Voprosy nauki i obrazovaniya*. 2019; (1): 11–6. (in Russian)
- On the Water Strategy of the Russian Federation for the Period up to 2020 and the Federal Target Program «Water of Russia» [O vodnoy strategii Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda i FTsP «Voda Rossii»]. Moscow; 2016. (in Russian)
- State report «On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2015» [Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2015 godu»]. Moscow; 2016. (in Russian)
- Petukhova E.O., Ruchkinova O.I. Dephosphatation of wastewater. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. 2017; (2): 123–41. (in Russian)
- Fedorov Yu.A., Trubnik R.G., Morozova M.A. Clostridia in commercial fish of the Azov and Black seas and in aquaculture facilities in the southern region of Russia. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2019; 19(1): 37–45. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2019.37.45>
- Petrov M.P., Shagidullin R.R. Anthropogenic load on water and the problems of biological wastewater treatment. *Georesursy*. 2011; (2): 14–20. (in Russian)
- Kharkina O.V. Efficient Operation and Calculation of Biological Wastewater Treatment Facilities [Effektivnaya ekspluatatsiya i raschet sooruzheniy biologicheskoy ochistki stochnykh vod]. Volgograd: Panorama; 2015. (in Russian)
- Zhuravlev P.V., Khutoryanina I.V., Marchenko B.I. The barrier role of sewage treatment plants in relation to sanitary-indicative and pathogenic bacteria, parasitic agents on the example of the southern zone of Russia. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(10): 1070–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1070-1076> (in Russian)
- Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Marchenko B.I. Determination of the disinfectant action of caustic lime on the microflora of sludge of wastewater of cleaning facilities for sewerage and cattle-breeding complexes. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(5): 483–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-483-488> (in Russian)
- Newton R.J., Bootsma M.J., Morrison H.G., Sogin M.L., McLellan S.L. A microbial signature approach to identify fecal pollution in the waters off an urbanized coast of Lake Michigan. *Microb. Ecol.* 2013; 65(4): 1011–23. <https://doi.org/10.1007/s00248-013-0200-9>
- Drury B., Rosi-Marshall E., Kelly J.J. Wastewater treatment effluent reduces the abundance and diversity of benthic bacterial communities in urban and suburban rivers. *Appl. Environ. Microbiol.* 2013; 79(6): 1897–905. <https://doi.org/10.1128/aem.03527-12>
- Nogales B., Lanfranco M.P., Piña-Villalonga J.M., Bosch R. Anthropogenic perturbations in marine microbial communities. *FEMS Microbiol. Rev.* 2011; 35(2): 275–98. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2010.00248.x>
- Anastasi E.M., Matthews B., Stratton H.M., Katouli M. Pathogenic Escherichia coli found in sewage treatment plants and environmental waters. *Appl. Environ. Microbiol.* 2012; 78(16): 5536–41. <https://doi.org/10.1128/aem.00657-12>
- Blaak H., de Kruif P., Hamidjaja R.A., van Hoek A.H., de Roda Husman A.M., Schets F.M. Prevalence and characteristics of ESBL-producing *E. coli* in Dutch recreational waters influenced by wastewater treatment plants. *Vet. Microbiol.* 2014; 171(3–4): 448–59. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2014.03.007>
- Cui Q., Huang Y., Wang H., Fang T. Diversity and abundance of bacterial pathogens in urban rivers impacted by domestic sewage. *Environ. Pollut.* 2019; 249: 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.094>
- Morozova M.A., Lartseva L.V. Microbial communities of the hydroecosystem of the Lower Don and Taganrog Bay. *Estesvennyye nauki*. 2012; (2): 50–6. (in Russian)
- Byappanahalli M.N., Nevers M.B., Korajkic A., Staley Z.R., Harwood V.J. Enterococci in the environment. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 2012; 76(4): 685–706. <https://doi.org/10.1128/mmlbr.00023-12>
- Percival S.L., Yates M.V., Williams D., Chalmers R., Gray N. *Ultraviolet Disinfection. Microbiology of Waterborne Diseases: Microbiological Aspects and Risks*. London: Elsevier Science; 2014.
- Hlavsa M.C., Roberts V.A., Kahler A.M., Hilborn E.D., Mecher T.R., Beach M.J., et al. Outbreaks of illness associated with recreational water – United States, 2011–2012. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 2015; 64(24): 668–72.
- Aleshnya V.V., Zhuravlev P.V., Panasovets O.P., Sedova D.A. Experimental study of active chlorine influence to pathogenic and potentially pathogenic microorganisms. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2018; (10): 17–21. (in Russian)
- Rakhmanin Yu.A., Ivanova L.V., Artemova T.Z., Gipp E.K., Zagaynova A.V., Maksimkina T.N., et al. Distribution of bacteria of the *Klebsiella* strain in water objects and their value in developing of the water caused acute intestinal infections. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(4): 397–406. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-4-397-406> (in Russian)
- Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Panasovets O.P., Artemova T.Z., Zagaynova A.V. Assessment of microbial risk of bacterial intestinal infections transmitted by water (on the example of cities of the Rostov region). *Infektsiya i immunitet*. 2012; 2(1–2): 144. (in Russian)
- Zagaynova A.V., Rakhmanin Yu.A. Development of approaches to an estimation of risk of occurrence of the bacterial intestinal infections distributed by a waterway. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2011; (4–2): 268–73. (in Russian)
- Sedova D.A., Romanovskaya Yu.A. Pathogenicity enzymes, sensitivity to antibiotics and commercial preparations of bacteriophages of *Klebsiella pneumoniae* strains isolated from the water of the Lower Don. In: *Ecology of the Native Land: Problems and Ways to Solve Them. Materials of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Ekologiya rodnogo kraja: problemy i puti ikh resheniya. Materialy XVI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy s mezhdunarodnym uchastiem konferentsii]*. Kirov; 2021: 67–70. (in Russian)
- Zhuravlev P.V., Panasovets O.P., Aleshnya V.V., Kazachok I.P., Chernogorova T.N., Derevyakina E.I. Antibiotic resistance of bacteria isolated from water of the open reservoirs. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2015; (5): 24–6. (in Russian)
- State Report «On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2020» [Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu»]. Moscow; 2021. (in Russian)
- Savin M., Alexander J., Bierbaum G., Hammerl J.A., Hembach N., Schwartz T., et al. Antibiotic-resistant bacteria, antibiotic resistance genes, and antibiotic residues in wastewater from a poultry slaughterhouse after conventional and advanced treatments. *Sci. Rep.* 2021; 11(1): 16622. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96169-y>
- Shaykhutdinova A.A., Kuksanov V.F., Knyazeva A.N. Studies on the effectiveness of household sewage disposal in the city of Orenburg. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017; (4): 240–3. (in Russian)
- Kuznetsova K.Y., Zelya O.P., Zhnakina Z.V., Maniya T.R. Problems of parasitic safety evaluation of water in sources used by population. *Periodico Tche Quimica*. 2019; 16(31): 558–70.
- Kuznetsova K.Yu.K., Kuznetsova M.A., Abramov I.A., Aslanova M.M., Maniya T.R., Sergiev V.P., et al. Epidemiological characteristics and hygienic assessment of factors for expanding the areas of pathogens of parasitic diseases on the territory of the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(9): 894–903. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-894-903> (in Russian)