

Научная статья

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОГО МИКРОБНОГО РИСКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОДОУБЛЮБЛЕННЫХ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА УЧАСТКЕ РЕКИ С ИНТЕНСИВНЫМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Б.И. Марченко¹, П.В. Журавлев², Л.А. Дерябкина³, О.А. Нестерова¹

¹Южный федеральный университет, Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42

²Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии, Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пер. Газетный, 119

³Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области – филиал в городе Таганроге, Российская Федерация, 347930, г. Таганрог, Большой пр., 16а

Повышение эффективности мероприятий по предупреждению распространения кишечных инфекций, передаваемых водным путем, определяет необходимость совершенствования методов и технологий санитарно-микробиологического мониторинга, представляющего собой одно из направлений системы социально-гигиенического мониторинга.

Целью работы является оценка в динамике потенциального микробного риска распространения водообусловленных острых кишечных инфекций на участке Нижнего Дона с интенсивным водопользованием. Объектом исследования были микробные сообщества воды реки Дон в пределах города Азова Ростовской области за период 2005–2020 гг. В работе использованы результаты бактериологических исследований 540 проб речной воды, а также 1800 проб воды на выходе из очистных сооружений и в распределительной сети городского водопровода с определением санитарно-показательных микроорганизмов (общих, термотолерантных и глюкозоположительных колиформных бактерий); потенциально патогенных микроорганизмов (клебсиелл и синегнойных палочек) и патогенных энтеробактерий (сальмонелл).

Выполнена комплексная оценка потенциального микробного риска распространения водообусловленных инфекционных заболеваний, включая ретроспективный анализ его тенденций и сезонных особенностей. Проведен сравнительный анализ точности среднесрочного экстраполяционного прогнозирования микробного риска с применением регрессионной и нейросетевой моделей. Для речной воды Нижнего Дона в 2005–2020 гг. величина рассчитанного по двум санитарно-гигиеническим факторам («Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и «Рекреационное водопользование») комплексного показателя (0,612) на основе пятиуровневого классификатора позволила диагностировать очень высокий уровень потенциального микробного риска распространения водообусловленных инфекционных нозологических форм при свойственном ему летне-осеннем сезонном подъеме.

За счет проведения оптимизационных мероприятий сформировалась устойчивая благоприятная тенденция по фактору «Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение». Значение трехфакторного комплексного показателя (0,525) также позволило установить высокий уровень потенциального микробного риска распространения водообусловленных кишечных инфекций. Выявлена статистически достоверная ($p < 0,01$) прямая средней силы корреляционная связь заболеваемости острыми кишечными инфекциями и сальмонеллезами с уровнем потенциального микробного риска. Подтверждено, что нейросетевые модели обеспечивают более высокую точность среднесрочных прогнозов микробного риска.

Ключевые слова: вода открытых водотоков, санитарно-микробиологические показатели, потенциально патогенные микроорганизмы, сальмонеллы, потенциальный микробный риск, оценка эпидемического риска, водообусловленные кишечные инфекции, многослойный перцептрон прямого распространения сигнала, среднесрочное прогнозирование, социально-гигиенический мониторинг.

© Марченко Б.И., Журавлев П.В., Дерябкина Л.А., Нестерова О.А., 2024

Марченко Борис Игоревич – доктор медицинских наук, доцент, профессор Института нанотехнологий, электроники и приборостроения, кафедра техносферной безопасности и химии (e-mail: borismarch@gmail.com; тел.: 8 (904) 346-15-75; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6173-329X>).

Журавлев Петр Васильевич – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека (e-mail: pitthegreat@yandex.ru; тел.: 8 (908) 510-57-29; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8196-3882>).

Дерябкина Людмила Александровна – кандидат медицинских наук, главный врач (e-mail: tagegsen@pbox.ttn.ru; тел.: 8 (928) 605-06-09; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0790-0365>).

Нестерова Олеся Александровна – аспирант Института нанотехнологий, электроники и приборостроения, кафедра техносферной безопасности и химии (e-mail: semina@sfnedu.ru; тел.: 8 (928) 610-96-15; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4263-5103>).

Проблема обеспечения населения питьевой водой гарантированного качества определяет как одну из приоритетных задач оценку риска здоровью, связанного с загрязнением компонентов окружающей среды, в том числе водных объектов [1–3]. Тенденции к увеличению водопотребления и объемов сточных вод приводят к увеличению уровней микробного загрязнения поверхностных водотоков и водоемов, используемых в качестве источников водоснабжения, а также в целях рекреационного водопользования. Значительная микробная контаминация воды поверхностных источников водоснабжения, особенно резистентными к антибиотикам бактериями, способна привести к деградации качества водопроводной воды с формированием повышенного риска распространения водобуловленных острых инфекционных заболеваний [4–9]. Это определяет приоритетное значение в структуре комплекса профилактических мероприятий совершенствования методов и технологий микробиологического контроля качества питьевой воды, воды источников водоснабжения и зон рекреационного водопользования [10–17]. Санитарно-микробиологический мониторинг водной среды является неотъемлемой составной частью системы эпидемиологического надзора с выходом на оценку риска здоровью населения, включая потенциальный риск заболеваемости населения водобуловленными кишечными инфекциями [18–23]. Как одно из перспективных направлений реализации «Концепции развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года»¹ может рассматриваться широкая интеграция ряда научных и организационно-методических принципов эпидемиологического надзора в национальную систему социально-гигиенического мониторинга [6].

Необходимо особо отметить интенсивно развиваемую методологию оценки риска здоровью населения под воздействием разнородных факторов окружающей среды для реализации комплекса задач по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации [20, 22]. Так, разработаны и применяются различные методы количественной оценки микробного риска, которые представляют собой информативные инструменты, основанные на определении индикаторов и параметров фекального загрязнения водной среды, свидетельствующего о возможном присутствии в

ней возбудителей кишечных инфекций [19, 24–28]. Теоретической основой процедуры оценки микробного риска послужили построенные математические модели причинно-следственных связей между частотой острых кишечных инфекций (ОКИ) и уровнями бактериального загрязнения воды [11, 12].

Цель исследования – оценка в динамике потенциального микробного риска распространения водобуловленных острых кишечных инфекций на участке Нижнего Дона с интенсивным водопользованием. Задачи исследования: определение наиболее информативных маркерных санитарно-бактериологических показателей речной воды с выходом на оценку потенциального микробного риска распространения водобуловленных острых кишечных инфекций (ОКИ); ретроспективный анализ многолетней и годовой динамики потенциального микробного риска с определением его тенденций и сезонных особенностей; сравнительная оценка точности среднесрочного прогнозирования потенциального микробного риска на основе применения регрессионной и нейросетевой моделей.

Материалы и методы. В работе использованы результаты санитарно-бактериологических исследований 540 проб воды реки Дон, 1800 проб воды на выходе из очистных сооружений и в распределительной сети системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также сведения о заболеваемости ОКИ и сальмонеллезами в городе Азове Ростовской области в 2005–2020 гг. Отбор проб речной воды производится в трех точках мониторинга по ходу течения: в зоне водозабора для системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения Азова, в зоне рекреационного водопользования (городской пляж) и в 500 м ниже по течению от места выпуска стоков городской канализации (рис. 1).

Исследования речной и питьевой воды проведены в лаборатории санитарной микробиологии водных объектов и микробной экологии человека ФБУН «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» на наличие санитарно-показательных микроорганизмов – общих колиформных бактерий (ОКБ), термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ); потенциально патогенных микроорганизмов – клебсиелл и синегнойных палочек; патогенных энтеробактерий – сальмонелл, а также глюкозоположительных колиформных бактерий (ГКБ) согласно актуальным санитарным правилам и нормам², методическим указаниям³. Применялась

¹ Об утверждении концепции развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года: Приказ руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзора) от 26.08.2019 № 665. – М.: Роспотребнадзор, 2019. – 27 с.

² СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 (с изменениями на 30 декабря 2022 года) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 05.05.2024).

³ МУК 4.2.1884-04. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов: методические указания / утв. и введ. в действие Главным государственным санитарным врачом, Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации Г.Г. Онищенко 3 марта 2004 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039680> (дата обращения: 05.05.2024).

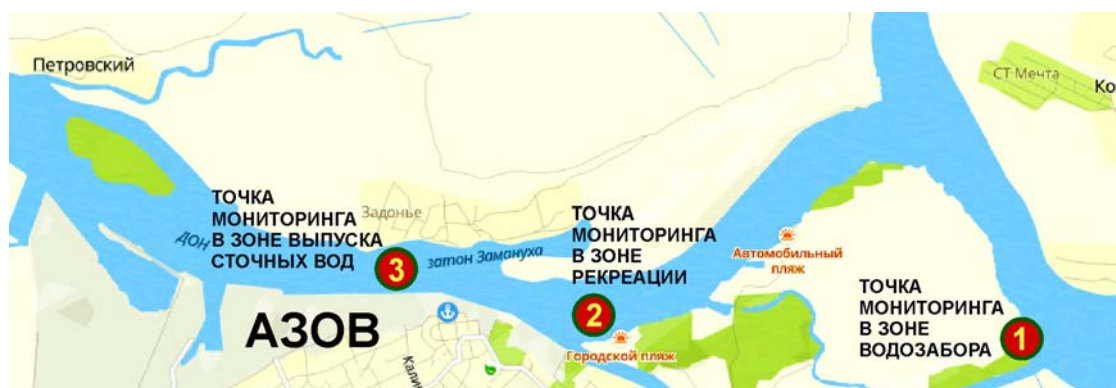


Рис. 1. Точки санитарно-бактериологического мониторинга воды Нижнего Дона в пределах города Азова Ростовской области

жидкая среда накопления для выделения бактерий рода *Salmonella* из водных объектов (среда РНС), обеспечивающая накопление сальмонелл разных серологических групп, подавляющая рост сопутствующей микрофлоры и позволяющая получать объективную информацию о степени бактериологического загрязнения водных объектов [29]. Изучение содержания в речной воде ГКБ обусловлено тем, что данный показатель объединяет в себе широкий круг как патогенных (сальмонеллы и шигеллы), так и потенциально патогенных энтеробактерий.

Продолжены исследования на основе метода оценки микробного риска с применением математических моделей расчета интегральных и комплексных показателей степени опасности возникновения кишечных инфекций в зависимости от санитарно-гигиенических условий водопользования⁴.

Пофакторные интегральные показатели потенциального микробного риска (R_i) определялись в отношении трех санитарно-гигиенических факторов («Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения», «Рекреационное водопользование» и «Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение»), по которым было учтено соответственно 5, 4 и 7 первичных показателей (X_i). Так, в структуру фактора «Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение» в качестве первичных показателей входили доли проб питьевой воды с обнаружением ОКБ перед поступлением в распределительную сеть и в распределительной сети; средний индекс ОКБ в распределительной сети; доля проб воды из распределительной сети с числом ОКБ 2 КОЕ/100 см³ и более; среднее число микроорганизмов в 1 см³ воды в распределительной сети; обнаружение патогенных бактерий и доля проб воды с обнаружением потенциально патогенных бактерий. С применением пофакторных весовых коэффициентов (G_i) на основе интегральных показателей

вычислялись два варианта комплексных показателей потенциального микробного риска распространения водообусловленных кишечных инфекций в зависимости от санитарно-гигиенических условий – как двухфакторные (R_{ab}), учитывающие санитарно-бактериологические показатели речной воды («Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и «Рекреационное водопользование»), так и трехфакторные, включающие также фактор «Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение» (R_k). Степень эпидемической опасности возникновения передаваемых водным путем бактериальных кишечных инфекций (уровень микробного риска) определялась на основе пофакторных интегральных показателей (R_i) и комплексных показателей микробного риска (R_{ab} и R_k) с применением пятиуровневого классификатора. Очень низкому уровню микробного риска соответствуют вычисленные значения интегральных и комплексных показателей микробного риска $0 \leq R < 0,15$; низкому (приемлемому) – $0,15 \leq R < 0,20$; среднему – $0,20 \leq R < 0,40$; высокому – $0,40 \leq R < 0,60$ и очень высокому – $0,60 \leq R \leq 1,00$.

Расчеты коэффициентов корреляции между уровнем потенциального микробного риска распространения водообусловленных кишечных инфекций и частотой заболеваний населения ОКИ, а также сальмонеллезом за 2005–2020 гг. выполнены на основе динамических рядов соответствующих помесячных показателей, включающих по 192 уровня ряда.

При формировании баз данных и статистической обработке материалов применены информационно-аналитический программный комплекс Microbiology of Surface Waters version 1.65 и программа для расчета статистик динамических рядов и экстраполяционного прогнозирования Turbo Dynamics version 2.51 собственной разработки, а также профессиональный пакет статистических про-

⁴ МР 2.1.10.0031-11. Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путем: методические рекомендации / утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 31.07.2011. – М.: Федеральный центр эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 47 с.

грамм IBM SPSS Statistics version 20.0. Вариационные и динамические ряды данных проверялись на наличие аномальных («выскакивающих») величин на основе критерия Шовене. Модели многолетней динамики строились подбором аппроксимирующих функций с оценкой статистической значимости ($p < 0,05$). При изучении сезонных особенностей потенциального микробного риска производился расчет верхних пределов его круглогодичных уровней и типовых кривых годовой динамики с дифференциацией круглогодичной и сезонной компонент⁵, помесечных индексов сезонных колебаний, коэффициента сезонности, характеризующего долю периодов сезонного подъема в годовой сумме, а также индекса сезонности по Уоррингеру. Сравнительная оценка точности среднесрочных прогнозов потенциального микробного риска на 2019 и 2020 гг., рассчитанных на основе нейросетевых и регрессионных моделей, выполнена на основе динамических рядов среднегодовых показателей продолжительностью 14 лет (2005–2018 гг.). При прогнозировании применены двуслойные искусственные нейронные сети (ИНС) двух типов – каскадная сеть с прямой передачей сигнала и с обратным распространением ошибки (Cascade-Forward backprop) и сеть с прямой передачей сигнала и с обратным распространением ошибки (Feed-Forward backprop) при числе нейронов в скрытых слоях 23 и 30 соответственно. ИНС сформированы в среде пакета прикладных программ Matlab R2021a

с набором инструментов для синтеза и анализа нейронных сетей Neural Network Toolbox; обучены на основе алгоритма Левенберга – Марквардта (Levenberg – Marquardt method), предназначенного для оптимизации параметров нелинейных регрессионных моделей при решении задач о наименьших квадратах [30, 31].

Результаты и их обсуждение. Настоящая работа продолжает исследования по оценке эпидемиологической значимости показателей бактериального загрязнения воды Нижнего Дона [32]. Результаты исследований по пятилетним периодам свидетельствуют о существенном ухудшении показателей микробной контаминации воды по ходу течения реки в пределах акватории Азова. Так, среднее число ОКБ для зоны рекреации превышает показатель зоны водозабора в 2,36–6,04 раза, а для зоны выпуска сточных вод – в 6,50–7,06 раза. Максимальное зарегистрированное число ОКБ также относится к зоне выпуска сточных вод – $2,4 \cdot 10^8$ КОЕ/100 см³. Соотношение между зонами водозабора, рекреации и выпуска сточных вод по числу ТКБ составляет 1,00: 1,57–5,51: 2,64–29,64 при максимальном значении показателя $2,4 \cdot 10^6$ КОЕ/100 см³. Среднее число ГКБ для зоны рекреации выше, чем для зоны водозабора в 1,43–5,95 раза, для зоны выпуска сточных вод – в 1,62–5,97 раза. Клебсиеллы и синегнойные палочки обнаружены соответственно в 100,00 и 99,81 % исследованных проб при их наибольшем среднем содержании $1,3 \cdot 10^7$ и $2,4 \cdot 10^5$ КОЕ/100 см³ (табл. 1).

Таблица 1

Санитарно-бактериологические показатели воды Нижнего Дона в пределах города Азова Ростовской области по пятилетиям за период 2006–2020 гг.

Точка мониторинга	Наименование показателя	Период наблюдения, гг.		
		2006–2010	2011–2015	2016–2020
Общие колиформные бактерии (ОКБ, колониобразующие единицы (КОЕ) в 100 см ³)				
Зона водозабора	Среднее число	7767,76	8131,32	9560,00
	Максимальное число	700 000	700 000	240 000
	Доля проб (%) с числом более 1000	85,51	81,67	97,73
Зона рекреации	Среднее число	18 326,10	49 124,21	24 322,50
	Максимальное число	7 000 000	7 000 000	240 000
	Доля проб (%) с числом более 500	98,55	96,67	100,00
Зона выпуска сточных вод	Среднее число	50 522,58	54 979,26	67 520,93
	Максимальное число	240 000 000	2 400 000	7 000 000
	Доля проб (%) с числом более 1000	97,10	96,67	100,00
Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ, колониобразующие единицы (КОЕ) в 100 см ³)				
Зона водозабора	Среднее число	812,29	1265,51	2190,26
	Максимальное число	24 000	24 000	24 000
	Доля проб (%) с числом более 100	76,81	91,67	100,00
Зона рекреации	Среднее число	1811,78	6975,55	3447,11
	Максимальное число	240 000	2 400 000	70 000
	Доля проб (%) с числом более 100	89,86	96,67	100,00
Зона выпуска сточных вод	Среднее число	2142,91	37 515,17	10 874,39
	Максимальное число	2 400 000	2 400 000	240 000
	Доля проб (%) с числом более 100	97,10	98,33	100,00

⁵ Дегтярев А.А., Ходырев А.П. Методика анализа годовой динамики инфекционной заболеваемости // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 1976. – Т. 53, № 2. – С. 97–102.

Точка мониторинга	Наименование показателя	Период наблюдения, гг.		
		2006–2010	2011–2015	2016–2020
Глюкозоположительные колиформные бактерии (ГКБ, колониеобразующие единицы (КОЕ) в 100 см ³)				
Зона водозабора	Среднее число	81 418,75	75 896,43	75 668,18
	Максимальное число	2 400 000	2 400 000	240 000
	Доля проб (%) с числом более 1000	97,10	100,00	100,00
Зона рекреации	Среднее число	411 513,4	451 858,6	108 404,65
	Максимальное число	24 000 000	24 000 000	700 000
	Доля проб (%) с числом более 500	100,00	100,00	100,00
Зона выпуска сточных вод	Среднее число	460 677,6	453 305,0	122 275,0
	Максимальное число	240 000 000	2 400 000	2 400 000
	Доля проб (%) с числом более 1000	100,00	100,00	100,00
Клебсиеллы (<i>Klebsiella</i> spp., колониеобразующие единицы (КОЕ) в 100 см ³)				
Зона водозабора	Среднее число	11 808,73	10 529,39	20 400,00
	Максимальное число	700 000	2 100 000	240 000
	Доля проб (%) с обнаружением	100,00	100,00	100,00
Зона рекреации	Среднее число	60 769,38	57 552,50	30 063,16
	Максимальное число	2 400 000	13 000 000	240 000
	Доля проб (%) с обнаружением	100,00	100,00	100,00
Зона выпуска сточных вод	Среднее число	85 127,10	70 036,15	77 172,09
	Максимальное число	2 400 000	2 400 000	700 000
	Доля проб (%) с обнаружением	100,00	100,00	100,00
Синегнойные палочки (<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , колониеобразующие единицы (КОЕ) в 100 см ³)				
Зона водозабора	Среднее число	769,84	575,28	141,22
	Максимальное число	7000	2400	2400
	Доля проб (%) с обнаружением	100,00	100,00	97,73
Зона рекреации	Среднее число	869,52	829,33	797,37
	Максимальное число	70 000	240 000	7000
	Доля проб (%) с обнаружением	100,00	100,00	100,00
Зона выпуска сточных вод	Среднее число	952,56	963,11	1698,95
	Максимальное число	70 000	24 000	7000
	Доля проб (%) с обнаружением	100,00	100,00	100,00
Сальмонеллы (<i>Salmonella</i> , наиболее вероятное число (НВЧ) в 1000 см ³)				
Зона водозабора	Среднее число	141,68	2,41	6,58
	Максимальное число	2100	24	70
	Доля проб (%) с обнаружением	79,71	31,67	36,36
Зона рекреации	Среднее число	524,70	21,48	41,57
	Максимальное число	24 000	240	240
	Доля проб (%) с обнаружением	89,86	81,67	97,73
Зона выпуска сточных вод	Среднее число	440,12	20,88	262,93
	Максимальное число	7000	240	6200
	Доля проб (%) с обнаружением	97,10	95,00	100,00

На протяжении всего периода наблюдения – с 2005 по 2020 г. включительно – возбудители кишечных инфекций, за исключением сальмонелл, из речной воды не выделялись. Сальмонеллы были обнаружены в 433 исследованных пробах. Установлено, что доля (удельный вес) проб речной воды в месте водозабора городского водопровода, в которых были выявлены сальмонеллы шести идентифицированных сероваров, при сравнении по пятилетним интервалам колебалась в диапазоне от 0,32 в 2011–2015 гг. до 0,80 в 2005–2010 гг. (31,67–79,71 %). Этот же показатель для воды городского пляжа (зоны рекреационного водопользования) оказался существенно выше с варьированием от 0,82 в 2011–2015 гг. до 0,98 в 2016–2020 гг. (81,67–97,73 %) при максимальном зарегистрированном за весь период наблю-

дения значения показателя наиболее вероятного числа (НВЧ) изолированных сальмонелл восьми сероваров, равном $2,4 \cdot 10^4$ НВЧ/100 см³. При этом в зоне выпуска сточных вод городской канализации в 2016–2020 гг. доля проб с обнаружением сальмонелл десяти сероваров достигла 1,00 (100,0 %), что свидетельствует о крайне напряженной санитарно-эпидемиологической ситуации именно на данном участке водотока. Хотя среди изолированных из речной воды сальмонелл во всех точках мониторинга преобладал такой серовар подвида *Salmonella enterica subsp. enterica*, как *Salmonella typhimurium*, по остальным сероварам сальмонелл установлены контрастные пространственные различия. Так, если для воды в зоне водозабора наиболее типичными оказались серовары *Salmonella derby* и *Salmonella*

heidelberg, то в воде зоны рекреации преобладали *Salmonella london* и *Salmonella essen*, а в зоне сброса сточных вод городской канализации – *Salmonella london* и *Salmonella derby*. При этом *Salmonella enteritidis* обнаруживалась только в речной воде, отобранной ниже по течению от зоны выпуска сточных вод (см. табл. 1 и 2).

Результаты анализа корреляционной матрицы, объединяющей количественные данные о содержании в 540 исследованных пробах речной воды всех шести определяемых микроорганизмов, позволили выявить статистически достоверную при $p < 0,01$ парную корреляционную связь – прямую сильную между такими санитарно-показательными микроорганизмами, как общие и глюкозоположительные колиформные бактерии (ОКБ и ГКБ), а также между потенциально патогенными клебсиеллами и *Pseudomonas aeruginosa*; прямую средней силы – между термотолерантными колиформными бактериями (ТКБ) и клебсиеллами, ТКБ и *Pseudomonas aeruginosa*, ОКБ и ТКБ. Установлено, что содержание сальмонелл в исследованных пробах речной воды не коррелирует с содержанием ни одного из остальных определяемых микроорганизмов (табл. 3).

В целом за изучаемый шестнадцатилетний период на основе применения пятиуровневого классификатора по интегральным показателям микробного риска распространения водообусловленных кишечных инфекционных заболеваний для воды зоны водозабора городского водопровода установлен его очень высокий уровень, а для воды зоны рекреации – высокий при значениях R_a и R_b , равных соответственно 0,655 и 0,574. Величина рассчитанного двухфакторного комплексного показателя микробного риска (R_{ab}), формируемого полностью за счет санитарно-бактериологических показателей речной воды и объединяющего такие санитарно-гигиенические факторы, как «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и «Рекреационное водопользование», равна 0,612, что соответствует его очень высокому уровню (табл. 4).

При оценке долевого участия первичных санитарно-микробиологических показателей (X_i) в структуре санитарно-гигиенического фактора «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» установлено, что приоритетный вклад (46,96 %) приходится на исходный показатель «удельный вес проб с обнаружением потенциально патогенных бактерий» – клебсиелл и синегнойных

Таблица 2

Серовары сальмонелл, изолированных из речной воды в акватории города Азова Ростовской области за период 2005–2020 гг.

Серовары сальмонелл	Точка мониторинга		
	зона водозабора	зона рекреации	зона выпуска сточных вод
<i>S. typhimurium</i>	32,99	34,16	19,43
<i>S. heidelberg</i>	14,43	4,97	9,71
<i>S. derby</i>	22,68	6,21	12,57
<i>S. essen</i>	8,25	16,77	10,29
<i>S. reading</i>	12,37	3,11	Не обнаружены
<i>S. bredeney</i>	9,28	7,45	8,57
<i>S. london</i>	Не обнаружены	18,01	12,00
<i>S. brandenburg</i>	Не обнаружены	9,32	Не обнаружены
<i>S. enteritidis</i>	Не обнаружены	Не обнаружены	19,43
<i>S. montevideo</i>	Не обнаружены	Не обнаружены	1,14
<i>S. chester</i>	Не обнаружены	Не обнаружены	2,86
<i>S. mission</i>	Не обнаружены	Не обнаружены	4,00

Таблица 3

Корреляционная матрица санитарно-бактериологических показателей воды Нижнего Дона в пределах города Азова Ростовской области за период 2005–2020 гг.

Наименование показателя	ОКБ	ТКБ	ГКБ	Клебсиеллы	Синегнойные палочки	Сальмонеллы
ОКБ	1,000	0,513	0,993	0,048	0,030	0,083
ТКБ	0,513	1,000	0,547	0,611	0,475	0,038
ГКБ	0,993	0,547	1,000	0,126	0,103	0,088
Клебсиеллы	0,040	0,611	0,126	1,000	0,817	0,011
Синегнойные палочки	0,030	0,475	0,103	0,817	1,000	0,023
Сальмонеллы	0,083	0,038	0,088	0,011	0,023	1,000

Примечание: ОКБ – общие колиформные бактерии; ТКБ – термотолерантные колиформные бактерии; ГКБ – глюкозоположительные колиформные бактерии.

Потенциальный микробный риск возникновения водообусловленных кишечных инфекций в зависимости от санитарно-бактериологических показателей воды Нижнего Дона в пределах города Азова Ростовской области в 2005–2020 гг.

Наименование показателя	Точка санитарно-бактериологического мониторинга воды реки Дон	
	зона водозабора	зона рекреационного водопользования
Интегральные показатели микробного риска возникновения кишечных инфекций по результатам санитарно-бактериологического мониторинга речной воды (оцениваемые факторы – «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и «Рекреационное водопользование»)		
Удельный вес проб речной воды с числом ОКБ, превышающим нормативные уровни – 1000 КОЕ/см ³ для зоны водозабора (X_1 , %) и 500 КОЕ/см ³ для зоны рекреационного водопользования (X_2 , %)	87,78	98,33
Приведенные значения (P_1 и P_2) при весовых коэффициентах $V_1 = 0,7$ для зоны водозабора и $V_2 = 0,8$ для зоны рекреационного водопользования	1,00	1,00
Взвешенные индексы микробного риска для речной воды в зонах водозабора ($A_1 = P_1 \cdot V_1$) и рекреационного водопользования ($A_2 = P_2 \cdot V_2$)	0,70	0,80
Среднее число ОКБ (КОЕ/100 см ³) в речной воде зоны водозабора (X_3) и зоны рекреационного водопользования – городского пляжа (X_4)	13 601,95	42 916,88
Приведенные значения (P_3 и P_4) при весовых коэффициентах $V_3 = 0,8$ для зоны водозабора и $V_4 = 0,9$ для зоны рекреационного водопользования	1,00	1,00
Взвешенные индексы микробного риска для речной воды в зонах водозабора ($A_3 = P_3 \cdot V_3$) и рекреационного водопользования ($A_4 = P_4 \cdot V_4$)	0,80	0,90
Удельный вес проб речной воды с обнаружением возбудителей острых кишечных инфекций в зоне водозабора (X_5 , %) и зоне рекреационного водопользования (X_6 , %)	0,00	0,00
Приведенные значения (P_5 и P_6) при весовых коэффициентах $V_5 = 2,0$ для зоны водозабора и $V_6 = 2,0$ для зоны рекреационного водопользования	0,00	0,00
Взвешенные индексы микробного риска для речной воды в зонах водозабора ($A_5 = P_5 \cdot V_5$) и рекреационного водопользования ($A_6 = P_6 \cdot V_6$)	0,00	0,00
Удельный вес проб речной воды с обнаружением прочих сальмонелл в зонах водозабора (X_7 , %) и рекреационного водопользования (X_8 , %)	53,89	89,44
Приведенные значения (P_7 и P_8) при весовых коэффициентах $V_7 = 0,8$ для зоны водозабора и $V_8 = 1,0$ для зоны рекреационного водопользования	1,00	1,00
Взвешенные индексы микробного риска для речной воды в зонах водозабора ($A_7 = P_7 \cdot V_7$) рекреационного водопользования ($A_8 = P_8 \cdot V_8$)	0,80	1,00
Удельный вес проб речной воды с обнаружением потенциально патогенных бактерий (клебсиелл и синегнойных палочек) в зоне водозабора (X_9 , %)	100,00	–
Приведенное значение (P_9) для зоны водозабора при весовом коэффициенте $V_9 = 1,5$	1,00	–
Взвешенный индекс микробного риска для речной воды в зоне водозабора ($A_9 = P_9 \cdot V_9$)	1,50	–
Суммы весовых коэффициентов для зоны водозабора ($W_a = V_1 + V_3 + V_5 + V_7 + V_9$) и для зоны рекреационного водопользования ($W_b = V_2 + V_4 + V_6 + V_8$)	5,80	4,70
Интегральные показатели микробного риска для зон водозабора (R_a) и рекреационного водопользования (R_b), рассчитанные по формулам: $R_a = 1 / W_a \cdot (A_1 + A_3 + A_5 + A_7 + A_9)$ и $R_b = 1 / W_b \cdot (A_2 + A_4 + A_6 + A_8)$	0,655	0,574
Оценка интегральных показателей микробного риска для зоны водозабора (R_a) и для зоны рекреационного водопользования (R_b) по пятиуровневому классификатору	Очень высокий	Высокий
Комплексный показатель микробного риска возникновения кишечных инфекций по результатам санитарно-бактериологического мониторинга речной воды (оцениваемые факторы – «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и «Рекреационное водопользование»)		
Весовые коэффициенты для оцениваемых факторов «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» (G_a) и «Рекреационное водопользование» (G_b)	0,7	0,8
Сумма весовых коэффициентов (W_{ab}) для оцениваемых факторов «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и «Рекреационное водопользование»: $W_{ab} = G_a + G_b$	1,5	
Комплексный показатель потенциального микробного риска (R_{ab}) возникновения кишечных инфекций в зависимости от санитарно-бактериологических показателей речной воды: $R_{ab} = 1 / W_{ab} \cdot (G_a \cdot R_a + G_b \cdot R_b)$	0,612	
Оценка комплексного показателя потенциального микробного риска возникновения кишечных инфекций для оцениваемых факторов «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и «Рекреационное водопользование» по пятиуровневому классификатору	Очень высокий	

палочек (X_9). Последующие три ранговых места в структуре данного фактора занимают показатели «среднее число ОКБ» (X_3), «удельный вес проб с числом ОКБ более 1000 КОЕ/см³» (X_1) и «удельный вес проб с обнаружением сальмонелл» (X_7) при величинах их вкладов соответственно 21,73, 19,32 и 11,99 %. В отношении интегрального показателя микробного риска для фактора «Рекреационное водопользование» (R_b) первичные показатели ранжируются в порядке – среднее число ОКБ (X_4), удельный вес проб воды с обнаружением сальмонелл (X_8) и удельный вес проб воды с числом ОКБ более 500 КОЕ/см³ (X_2) при их долевом участии соответственно 34,81, 33,90 и 31,29 %.

По результатам анализа годовой динамики определены периоды повышенного потенциального микробного риска возникновения водобуловленных кишечных инфекций. Так, рассчитанные верхние пределы круглогодичного уровня его интегральных показателей составляют для фактора «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» (R_a) 0,558, для фактора «Рекреационное водопользование» (R_b) – 0,545, а двухфакторного комплексного показателя (R_{ab}) – 0,554 при коэффициентах сезонности соответственно 53,50, 52,06 и 52,87 %. По результатам сопоставления типовых годовых кривых потенциального микробного риска с верхними пределами круглогодичного уровня определено, что его сезонный подъем в зоне водозабора приходится на период с июня по ноябрь, а в зоне рекреационного водопользования, находящейся ниже по течению, – с июля по ноябрь. Результаты анализа годовой динамики санитарно-бактериологических показателей свидетельствуют, что сезонная надбавка микробного риска в июне–августе обусловлена увеличением содержания в реч-

ной воде ТКБ, ГКБ, клебсиелл и синегнойных палочек при индексах сезонности по Уоррингеру, определяемых как соотношение показателей в месяцы максимума и минимума, соответственно 6,93, 23,94, 12,43 и 15,01. Второй сезонный подъем микробного риска в октябре–ноябре при индексе сезонности по Уоррингеру 12,26 коррелирует с увеличением содержания в воде сальмонелл (табл. 5, рис. 2).

Данные ретроспективного анализа сформировавшейся в 2005–2020 гг. многолетней динамики с качественной и количественной оценкой тенденций свидетельствуют о стабильно высоких двухфакторных интегральных показателях потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций по санитарно-гигиеническим факторам «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» (R_a) и «Рекреационное водопользование» (R_b) при средне-многолетних темпах прироста +0,06 % и 0,00 % соответственно. За счет того, что в Азове в целях повышения качества питьевой воды в централизованной системе хозяйственно-питьевого водоснабжения был реализован комплекс оптимизационных мероприятий, который включал приведение технического оснащения водоочистных сооружений в соответствие с современными требованиями и нормами, оптимизацию технологий водоподготовки и большой объем ремонтных работ на распределительной сети городского водопровода, с 2009 г. сформировались устойчивые тенденции к снижению показателей потенциального микробного риска – как интегрального по фактору «Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение» (R_c), так и трехфакторного комплексного (R_k) при среднегодовых темпах убыли соответственно -4,87 и -1,63 % (табл. 6, рис. 3).

Таблица 5

Сезонные особенности потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций в городе Азове за период 2005–2020 гг.

Наименование показателя	Месяц наблюдения											
	январь	февр.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сент.	окт.	ноябр.	дек.
Интегральные показатели потенциального микробного риска по оцениваемому фактору «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» (R_a) Коэффициент сезонности – 53,50 % / Индекс сезонности по Уоррингеру – 1,279 / Верхний предел круглогодичного уровня – 0,558												
Типовая годовая кривая R_a	0,514	0,499	0,521	0,525	0,536	0,601	0,611	0,569	0,569	0,587	0,599	0,478
Индекс сезонных колебаний, %	0,921	0,894	0,933	0,941	0,960	1,076	1,095	1,020	1,019	1,052	1,073	0,856
Интегральные показатели потенциального микробного риска по оцениваемому фактору «Рекреационное водопользование» (R_b) Коэффициент сезонности – 52,06 % / Индекс сезонности по Уоррингеру – 1,242 / Верхний предел круглогодичного уровня – 0,545												
Типовая годовая кривая R_b	0,462	0,516	0,535	0,531	0,535	0,544	0,574	0,574	0,561	0,548	0,574	0,528
Индекс сезонных колебаний, %	0,848	0,946	0,982	0,974	0,982	0,998	1,053	1,053	1,029	1,005	1,053	0,969
Комплексный показатель потенциального микробного риска возникновения кишечных инфекций для оцениваемых факторов «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения» и «Рекреационное водопользование» (R_{ab}) Коэффициент сезонности – 52,87 % / Индекс сезонности по Уоррингеру – 1,366 / Верхний предел круглогодичного уровня – 0,554												
Типовая годовая кривая R_{ab}	0,433	0,508	0,550	0,536	0,538	0,570	0,592	0,572	0,565	0,566	0,586	0,511
Индекс сезонных колебаний, %	0,782	0,917	0,992	0,968	0,971	1,030	1,068	1,032	1,019	1,022	1,057	0,923

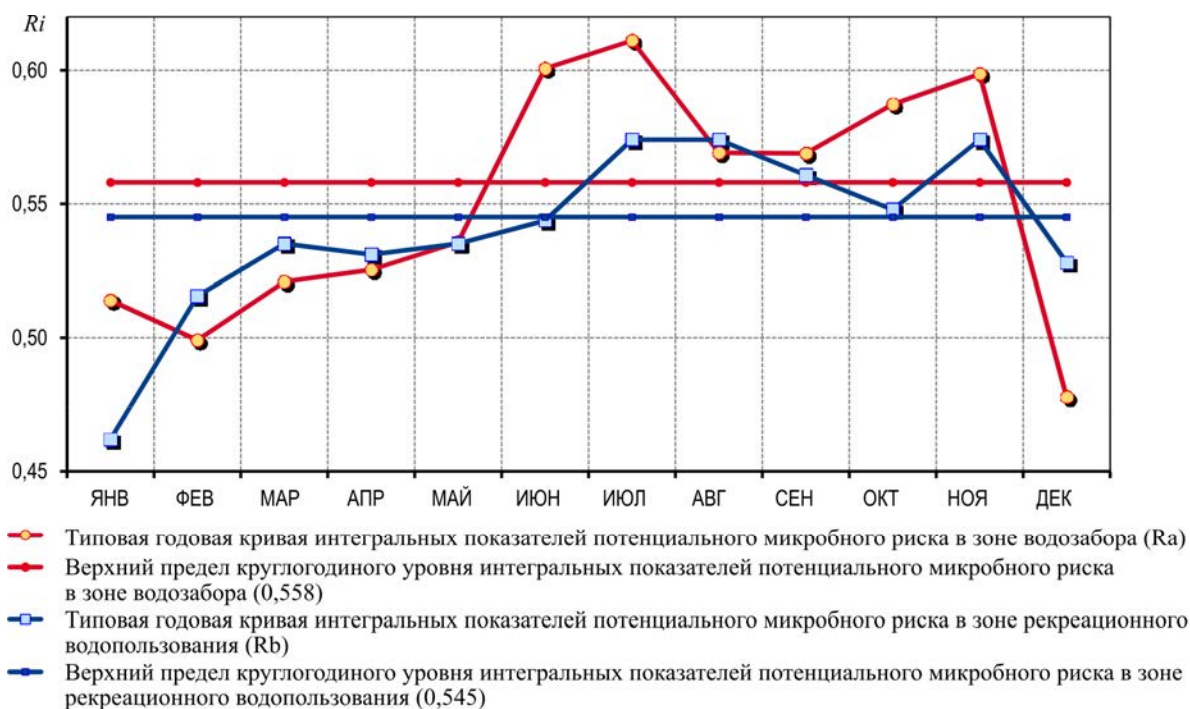


Рис. 2. Сезонные особенности потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций в городе Азове за период 2005–2020 гг.

Таблица 6

Динамика в 2005–2020 гг. и прогнозы показателей потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций в городе Азове Ростовской области

Год	Интегральные показатели потенциального микробного риска по отдельным санитарно-гигиеническим факторам			Комплексный показатель потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций (R_k)
	Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (R_a)	Рекреационное водопользование (R_b)	Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение (R_c)	
2005	0,655	0,574	0,560	0,591
2006	0,655	0,574	0,497	0,566
2007	0,566	0,574	0,500	0,542
2008	0,655	0,574	0,820	0,695
2009	0,655	0,574	0,560	0,591
2010	0,655	0,574	0,570	0,595
2011	0,655	0,574	0,492	0,564
2012	0,652	0,574	0,355	0,508
2013	0,655	0,574	0,412	0,532
2014	0,653	0,574	0,347	0,505
2015	0,655	0,574	0,292	0,484
2016	0,655	0,574	0,318	0,494
2017	0,655	0,574	0,284	0,481
2018	0,655	0,574	0,282	0,480
2019	0,655	0,574	0,277	0,478
2020	0,594	0,574	0,298	0,469
2005–2020	Среднеголетние уровни интегральных и комплексного показателей потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций			
	0,645 ± 0,014	0,574 ± 0,000	0,403 ± 0,066	0,525 ± 0,026
	Модели многолетней динамики (2005–2020 гг.) потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций (X – порядковый номер года в динамическом ряду)			
	$R_a = 0,641 + 0,005 \cdot \log(X)$	$R_b = 0,574 + 0,000 \cdot \log(X)$	$R_c = 0,657 - 0,287 \cdot \log(X)$	$R_k = 0,625 - 0,113 \cdot \log(X)$
	Среднегодовые темпы прироста / убыли тенденций потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций, %			
+ 0,06	0,00	-4,87	-1,63	

Искусственные двухслойные нейронные сети	Тип нейронной сети		Cascade-Forward backprop	Feed-Forward backprop
	Число нейронов в скрытом слое		23	30
Прогнозы на основе нейросетевых моделей по данным за 2005–2018 гг.	2019		0,291	0,488
	2020		0,279	0,481
Регрессионные модели прогноза за период 2005–2018 гг.			$R_c = 0,605 - 0,026 \cdot X$	$R_k = 0,621 - 0,104 \cdot \log(X)$
Прогнозы на основе регрессионных моделей по данным за 2005–2018 гг.	2019 ($X = 15$)		0,243	0,498
	2020 ($X = 16$)		0,217	0,496
Погрешности прогнозов на основе нейросетевых моделей	абс.	2019	0,014	0,010
			5,05	2,09
	%	2020	0,019	0,012
			6,38	2,56
Погрешности прогнозов на основе регрессионных моделей	абс.	2019	0,034	0,020
			12,27	4,18
	%	2020	0,081	0,027
			27,18	5,76
Соотношение абсолютных погрешностей прогнозов на основе нейросетевой и регрессионной моделей		2019	2,429	2,000
		2020	4,263	2,250
Разница относительных погрешностей прогнозов на основе нейросетевой и регрессионной моделей, %		2019	7,22	2,09
		2020	20,81	3,20

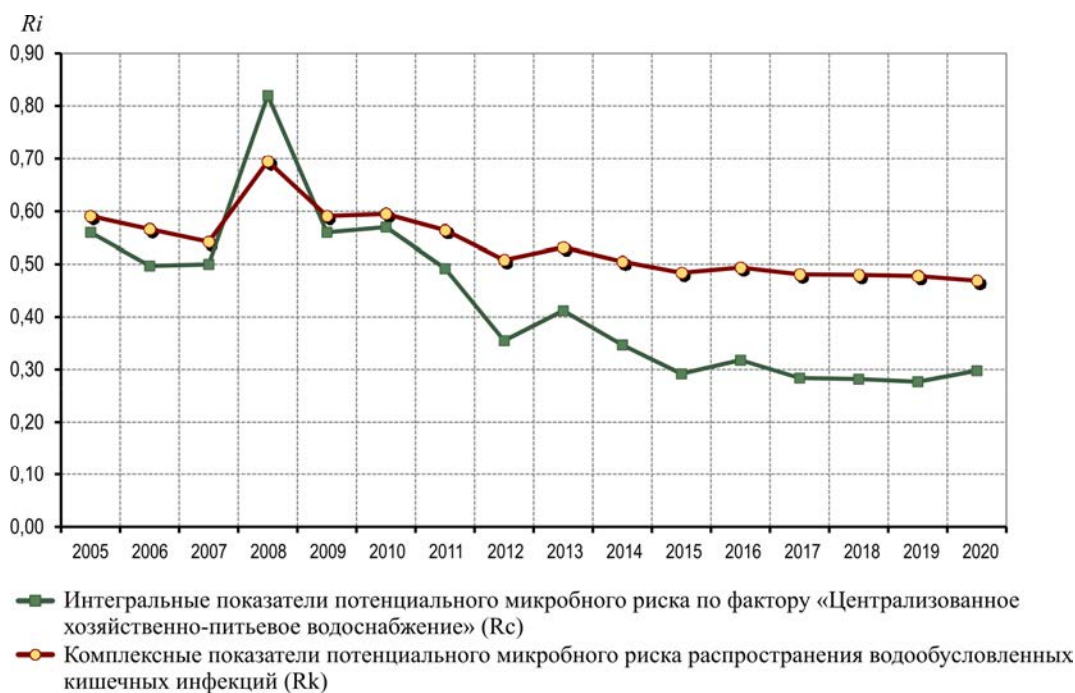


Рис. 3. Многолетняя динамика потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций в городе Азове за период 2005–2020 гг.

Сравнительная оценка точности среднесрочных прогнозов микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций, полученных альтернативными методами – традиционным экстраполяционным по линиям регрессии и с применением построенных искусственных нейронных сетей, основывалась на их абсолютных и относительных погрешностях по отношению к фактическим показателям, рассчитанным для 2019 и 2020 гг. Подтверждена более высокая точность полученных с применением ИНС прогнозов как по фактору «Централизованное хозяйственно-питьевое водо-

снабжение» (R_c), так и по трехфакторному комплексному показателю (R_k) потенциального микробного риска распространения водобуловленных кишечных инфекций (табл. 6).

Результаты ретроспективного анализа за период 2005–2020 гг. свидетельствуют об относительном эпидемическом неблагополучии по заболеваемости населения Азова суммой ОКИ и сальмонеллезами с превышением областных показателей в 1,20 и 2,18 раза соответственно (табл. 7).

Выявлена прямая средней силы статистически значимая ($p < 0,01$) корреляционная связь между

Заболеваемость острыми кишечными инфекциями и сальмонеллезами в городе Азове в динамике за период 2005–2020 гг.

Год	Дизентерия	Прочие ОКИ	Сумма ОКИ	Сальмонеллез	
2005	71,20	322,30	393,50	19,30	
2006	22,42	348,08	370,50	34,86	
2007	17,32	355,08	372,40	44,07	
2008	18,48	399,82	418,30	48,17	
2009	21,86	364,84	386,70	54,25	
2010	16,78	385,32	402,10	49,20	
2011	18,00	330,50	348,50	54,08	
2012	9,64	287,94	297,58	68,67	
2013	7,24	373,00	380,24	38,62	
2014	2,40	503,50	505,90	40,95	
2015	3,60	623,10	626,70	37,58	
2016	0,00	470,60	470,60	37,80	
2017	1,22	613,20	614,42	56,19	
2018	2,46	529,90	532,36	50,41	
2019	7,43	517,80	525,23	48,31	
2020	3,74	277,72	281,46	7,47	
2005–2020	г. Азов	14,67 ± 10,04	428,33 ± 61,27	443,00 ± 56,24	45,50 ± 6,58
	Ростовская область	14,02 ± 2,15	354,19 ± 30,16	368,20 ± 28,99	20,90 ± 2,11

помесечными показателями за период 2005–2020 гг.: частотой заболеваний суммой ОКИ и содержанием ОКБ в воде зоны водозабора при коэффициенте парной корреляции 0,513; частотой заболеваний суммой ОКИ и сальмонеллезами, с одной стороны и значениями рассчитанных комплексных показателей потенциального микробного риска распространения водообусловленных кишечных инфекций (R_k) – с другой, при соответствующих коэффициентах парной корреляции, равных 0,547 и 0,494.

К основным результатам, полученным в ходе проведения настоящего исследования, посвященного актуальной проблеме минимизации риска эпидемического распространения водообусловленных инфекционных нозологических форм, относится объективная характеристика микробиоценоза воды в акватории города Азова – наиболее загрязненного участка Нижнего Дона, а также системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения на основе результатов санитарно-бактериологического мониторинга за период 2005–2020 гг. Помимо исследования речной и питьевой воды на содержание индикаторной микрофлоры (общих и термотолерантных колиформных бактерий), проводилось определение патогенных энтеробактерий, включая сальмонелл (*Salmonella*), а также наиболее значимых в эпидемическом отношении широко распространенных неферментирующих грамотрицательных потенциально патогенных бактерий, являющихся типичными представителями семейств *Enterobacteriaceae* и *Pseudomonadaceae* – клебсиелл (*Klebsiella* spp.) и синегнойных палочек (*Pseudomonas aeruginosa*). Дополнительно определялся такой высокоинформативный интегральный показатель потенциальной опасности распространения острых кишечных инфекций, как глюкозоположи-

тельные колиформные бактерии (ГКБ). По результатам выполненных исследований установлены сверхнормативные уровни микробной контаминации речной воды с существенным ухудшением ее санитарно-бактериологических показателей по ходу течения в пределах акватории города Азова. Результаты анализа корреляционной матрицы свидетельствуют, что содержание в воде Нижнего Дона ГКБ может рассматриваться как универсальный индикатор риска распространения бактериальных кишечных инфекций. Это согласуется с мнением ряда авторов, что использование при санитарно-бактериологическом мониторинге данного показателя гарантирует надежный контроль эпидемической безопасности воды, так как входящие в показатель ГКБ бактерии по длительности выживаемости в водных объектах и питьевой воде и высокой устойчивости к действию обеззараживающих агентов соответствуют или превосходят подобные показатели патогенных и потенциально патогенных бактерий [6, 7, 11, 14, 21, 25].

Применение математических моделей расчета интегральных и комплексных показателей уровней потенциальной эпидемической опасности распространения кишечных инфекций в зависимости от санитарно-гигиенических условий водопользования представляет собой эффективный инструмент для реализации процедуры оценки риска здоровью населения, обусловленного бактериальными патогенами, что подтверждается результатами многолетних исследований как в России, так и за рубежом [14, 18, 19, 21, 24, 25]. По результатам выполненных исследований был определен дифференцированный вклад отдельных санитарно-бактериологических показателей в структуру потенциального риска распространения кишечных инфекций и диагностиро-

ван очень высокий его уровень как по величине двухфакторного комплексного показателя микробного риска, являющегося производной величиной от его интегральных показателей для факторов «Источники централизованного водоснабжения» и «Рекреационное водопользование», так и трехфакторного комплексного показателя микробного риска, формируемого с учетом значений интегральных показателей по санитарно-гигиеническому фактору «Централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение». Анализ типовых годовых кривых и верхних пределов круглогодичного уровня потенциального микробного риска позволил выявить и количественно оценить его летне-осеннюю сезонность, обусловленную высоким содержанием в речной воде потенциально патогенной микрофлоры в июне–августе и сальмонелл в октябре–ноябре. Полученные результаты анализа многолетней динамики выделения патогенных (сальмонеллы) и потенциально патогенных бактерий из воды всех точек мониторинга воды Нижнего Дона во многом согласуются с данными ряда авторов [6, 7, 14]. Установлено, что при стабильно неблагоприятных санитарно-бактериологических показателях речной воды за счет улучшения качества питьевой воды централизованной системы хозяйственно-питьевого водоснабжения Азова сформировалась тенденция к снижению трехфакторного комплексного показателя потенциального микробного риска распространения водообусловленных кишечных инфекций. Сравнительная апробация методов прогнозирования потенциального микробного риска, основанных на регрессионной и нейросетевой моделях, подтвердила более высокую точность прогнозов, полученных с применением искусственных нейронных сетей. Загрязнение гидросферы является серьезной проблемой, так как присутствие в воде патогенных и потенциально патогенных бактерий указывает на потенциальный риск возникновения и эпидемического распространения кишечных инфекций, что подтверждается в работах многих отечественных и зарубежных исследователей [6, 7, 18, 21, 25–27]. Результаты ретро-

спективного анализа заболеваемости населения Азова острыми кишечными инфекциями и сальмонеллезами с использованием парного корреляционного анализа подтверждают ее зависимость от уровня потенциального микробного риска.

Выводы. Таким образом, на основе полученных результатов настоящего исследования определен стабильно сверхнормативный уровень бактериального загрязнения речной воды в акватории города Азова, что позволяет диагностировать очень высокий уровень микробного риска распространения водообусловленных инфекционных нозологических форм, в формировании которого приоритетно участие потенциально патогенных микроорганизмов (клебсиелл и синегнойных палочек), а также сальмонелл.

Имплементация в рамках ведения социально-гигиенического мониторинга методов и технологий построения математических моделей возникновения и распространения водообусловленных кишечных инфекций бактериальной этиологии служит надежным инструментом проспективного анализа эпидемической ситуации на основе данных о санитарно-микробиологических показателях качества воды открытых водотоков и водоемов, а также питьевой воды. Получаемой на основе комплекса учитываемых санитарно-гигиенических факторов оценке потенциального микробного риска отводится роль важного компонента информационно-аналитического обеспечения при разработке оптимизационных управленческих решений по предупреждению эпидемического распространения водным путем кишечных инфекционных заболеваний. При прогнозировании развития эпидемической ситуации высокая точность может быть обеспечена за счет применения технологии искусственных нейронных сетей.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиции сохранения здоровья нации // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2014. – № 2 (251). – С. 4–7.
2. Онищенко Г.Г. Актуальные задачи гигиенической науки и практики в сохранении здоровья населения // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 3. – С. 5–9.
3. Рахманин Ю.А., Доронина О.Д. Стратегические подходы управления рисками для снижения уязвимости человека вследствие изменения водного фактора // Гигиена и санитария. – 2010. – № 2. – С. 8–13.
4. Проблемы эпидемической безопасности питьевого водопользования населения России / А.Е. Недачин, Т.З. Артемова, Р.А. Дмитриева, Т.В. Доскина, Т.В. Талаева, Л.В. Иванова, Н.Н. Буторина, Д.В. Лаврова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2005. – № 6. – С. 14–18.
5. Механтьев И.И. Санитарно-гигиенические и эпидемиологические аспекты рекреационного водопользования населения бассейна Верхнего Дона // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 12 (333). – С. 23–29. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-23-29
6. Is detection of enteropathogens and human or animal faecal markers in the environment associated with subsequent child enteric infections and growth: an individual participant data meta-analysis / A. Mertens, B.F. Arnold, J. Benjamin-Chung, A.V. Boehm, J. Brown, D. Capone, T. Clasen, E.R. Fuhrmeister [et al.] // Lancet Glob. Health. – 2024. – Vol. 12, № 3. – P. e433–e444. DOI: 10.1016/s2214-109x (23) 00563-6

7. Source-Associated Gastroenteritis Risk from Swimming Exposure to Aging Fecal Pathogens / B. Wu, C. Wang, C. Zhang, M.J. Sadowsky, M. Dzakpasu, X.C. Wang // *Environ. Sci. Technol.* – 2020. – Vol. 54, № 2. – P. 921–929. DOI: 10.1021/acs.est.9b01188
8. Bacteria communities and water quality parameters in riverine water and sediments near wastewater discharges / C.O. de Santana, P. Spealman, D. Azulai, M. Reid, M.E. Dueker, G.G. Perron // *Sci. Data.* – 2022. – Vol. 9, № 1. – P. 578. DOI: 10.1038/s41597-022-01686-8
9. Pereira M.A., Palmeira J.D., Ferreira H. Contamination of a Water Stream and Water Drainage Reaching Matosinhos Beach by Antibiotic-Resistant Bacteria // *Microorganisms.* – 2023. – Vol. 11, № 12. – P. 2833. DOI: 10.3390/microorganisms11122833
10. Трухина Г.М., Ярославцева М.А., Дмитриева Н.А. Современные тенденции санитарной микробиологии в реализации санитарно-эпидемиологического надзора за безопасностью водных объектов // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО.* – 2022. – Т. 30, № 10. – С. 16–24. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-16-24
11. Сравнительная оценка санитарно-эпидемической значимости индикаторных колиформных показателей качества питьевой воды / Ю.А. Рахманин, Л.В. Иванова, Т.З. Артемова, Е.К. Гипп, А.В. Загайнова, Т.Н. Максимкин, А.В. Красняк, П.В. Журавлев [и др.] // *Гигиена и санитария.* – 2019. – Т. 98, № 3. – С. 237–249. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-3-237-249
12. Савилов Е.Д., Анганова Е.В. Микробиологический мониторинг водных экосистем // *Гигиена и санитария.* – 2010. – Т. 89, № 5. – С. 56–58.
13. Diversity and abundance of bacterial pathogens in urban rivers impacted by domestic sewage / Q. Cui, Y. Huang, H. Wang, T. Fang // *Environ. Pollut.* – 2019. – Vol. 249 – P. 24–35. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.02.094
14. Holcomb D.A., Stewart J.R. Microbial Indicators of Fecal Pollution: Recent Progress and Challenges in Assessing Water Quality // *Curr. Environ. Health Rep.* – 2020. – Vol. 7, № 3. – P. 311–324. DOI: 10.1007/s40572-020-00278-1
15. Korajkic A., McMinn B.R., Harwood V.J. Relationships between Microbial Indicators and Pathogens in Recreational Water Settings // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2018. – Vol. 15, № 12. – P. 2842. DOI: 10.3390/ijerph15122842
16. Quantitative microbial risk assessment of the gastrointestinal risks to swimmers at Southeast Asian urban beaches using site-specific and combined autochthonous and fecal bacteria exposure data / T. Denpetkul, M. Pumkaew, O. Sittipunsakda, M. Sresung, N. Chyerochana, A. Kongprajug, S. Rattanukul, Y. Patarapongsant [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2023. – Vol. 902. – P. 165818. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165818
17. Gorski L., Rivadeneira P., Cooley M.B. New strategies for the enumeration of enteric pathogens in water // *Environ. Microbiol. Rep.* – 2019. – Vol. 11, № 6. – P. 765–776. DOI: 10.1111/1758-2229.12786
18. Оценка микробного риска для установления зависимости между качеством воды и заболеваемостью населения кишечными инфекциями / А.В. Загайнова, Ю.А. Рахманин, Ю.Г. Талаева, С.И. Иванов, Т.З. Артемова, А.Е. Недачин, Е.К. Гипп, Н.Н. Буторина // *Гигиена и санитария.* – 2010. – № 3. – С. 28–31.
19. Комплексное изучение микробного риска возникновения острых кишечных инфекций при оценке эпидемической безопасности питьевого водопользования / П.В. Журавлёв, В.В. Алешня, Е.В. Ковалев, М.М. Швагер // *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение.* – 2018. – Т. 7, № 3 (26). – С. 7–14. DOI: 10.24411/2305-3496-2018-13001
20. Риск для здоровья населения и эффективность мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения / Н.В. Зайцева, С.В. Клейн, И.В. Май, А.А. Савочкина, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов, С.А. Вековщина // *Гигиена и санитария.* – 2022. – Т. 101, № 11. – С. 1403–1411. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1403-1411
21. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора / Н.В. Зайцева, А.С. Сбоев, С.В. Клейн, С.А. Вековщина // *Анализ риска здоровью.* – 2019. – № 2. – С. 44–55. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.05
22. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения / Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, И.В. Май, П.З. Шур // *Анализ риска здоровью.* – 2022. – № 3. – С. 4–20. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.01
23. Онищенко Г.Г. Актуальные проблемы и перспективы развития методологии анализа риска в условиях современных вызовов безопасности для здоровья населения Российской Федерации // *Анализ риска здоровью.* – 2023. – № 4. – С. 4–18. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.01
24. Трухина Г.М. Оценка микробиологического риска среды обитания для здоровья населения в системе социально-гигиенического мониторинга // *Здравоохранение Российской Федерации.* – 2008. – № 1. – С. 43.
25. Contamination Scenario Matters when Using Viral and Bacterial Human-Associated Genetic Markers as Indicators of a Health Risk in Untreated Sewage-Impacted Recreational Waters / M.E. Schoen, A.B. Boehm, J. Soller, O.C. Shanks // *Environ. Sci. Technol.* – 2020. – Vol. 54, № 20. – P. 13101–13109. DOI: 10.1021/acs.est.0c02189
26. Risk of Gastroenteritis from Swimming at a Wastewater-Impacted Tropical Beach Varies across Localized Scales / A. González-Fernández, E.M. Symonds, J.F. Gallard-Gongora, B. Mull, J.O. Lukasik, P.R. Navarro, A.B. Aguilar, J. Peraud [et al.] // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2023. – Vol. 89, № 3. – P. e0103322. DOI: 10.1128/aem.01033-22
27. Integrating life cycle assessment with quantitative microbial risk assessment for a holistic evaluation of sewage treatment plant / A. Bhatt, A.C. Dada, S.K. Prajapati, P. Arora // *Sci. Total Environ.* – 2023. – Vol. 862. – P. 160842. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160842
28. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В., Копытенкова О.И. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга территорий крупных городов // *Гигиена и санитария.* – 2017. – Т. 96, № 4. – С. 298–301. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-298-301

29. Применение новой питательной среды для выделения сальмонелл из водных объектов для оценки эпидемиологической безопасности водопользования / Ю.А. Рахманин, П.В. Журавлев, В.В. Алешня, О.В. Панасовец // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 5. – С. 483–490. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-5-483-490

30. Пархоменко С.С., Леденёва Т.М. Обучение нейронных сетей методом Левенберга – Марквардта в условиях большого количества данных // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2014. – № 2. – С. 98–106.

31. Ремезова А.А., Тынченко В.В. Применение искусственных нейронных сетей для решения задач прогнозирования // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – Т. 1, № 7. – С. 371–374.

32. Санитарно-бактериологическая характеристика воды Нижнего Дона / П.В. Журавлев, В.В. Алешня, О.П. Панасовец, Г.В. Айдинов, М.М. Швагер, Т.В. Митрофанова, А.А. Глухов, Б.Х. Джансейидов [и др.] // Гигиена и санитария. – 2012. – Т. 91, № 4. – С. 28–31.

Оценка потенциального микробного риска распространения водообусловленных инфекционных заболеваний на участке реки с интенсивным водопользованием / Б.И. Марченко, П.В. Журавлев, Л.А. Дерябкина, О.А. Нестерова // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 4. – С. 81–96. DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.08

UDC 613.31:614.445:614.777

DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.08.eng



Research article

ASSESSMENT OF POTENTIAL MICROBIAL RISK CAUSED BY SPREAD OF WATERBORNE INFECTIOUS DISEASES IN A RIVER AREA WITH INTENSIVE WATER USE

B.I. Marchenko¹, P.V. Zhuravlev², L.A. Deryabkina³, O.A. Nesterova¹

¹Southern Federal University, 105/42 Bol'shaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

²Rostov Research Institute of Microbiology and Parasitology, 119 Gazetny Lane, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

³Center for Hygiene and Epidemiology in Rostov Region, Taganrog Office, 16a Bol'shoi Av., Taganrog, 347930, Russian Federation

The necessity to raise effectiveness of activities aimed at preventing spread of waterborne intestinal infections requires improvement of methods and technologies applied in sanitary-microbiological monitoring as a part of the system for socio-hygienic monitoring.

*The aim of this study was to assess dynamics of potential microbial risks caused by spread of waterborne acute intestinal infections in the Lower Don River area with intensive water use. Microbial communities in water of the Don River in Azov City over 2005–2020 were selected as research objects. The study relied on using results obtained by bacteriological tests of 540 river water samples as well as 1800 water samples taken at outlets from water treatment facilities and in distribution networks of the municipal water supply system. The tests involved identifying sanitary-indicative microorganisms (total levels, fecal and glucose-positive coliform bacteria), potentially pathogenic microorganisms (*Klebsiella* and *Pseudomonas aeruginosa*), and pathogenic enterobacteriaceae (*Salmonella*).*

© Marchenko B.I., Zhuravlev P.V., Deryabkina L.A., Nesterova O.A., 2024

Boris I. Marchenko – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor at the Institute of Nanotechnology, Electronics and Instrument Engineering (e-mail: borismarch@gmail.com; tel.: +7 (904) 346-15-75; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6173-329X>).

Piotr V. Zhuravlev – Doctor of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Sanitary Microbiology of Water Bodies and Human Microbial Ecology (e-mail: pitthegreat@yandex.ru; tel.: +7 (908) 510-57-29; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8196-3882>).

Lyudmila A. Deryabkina – Candidate of Medical Sciences, Chief Physician (e-mail: tagcgsgen@pbox.ttn.ru; tel.: +7 (863) 464-29-62; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0790-0365>).

Olesja A. Nesterova – postgraduate student of the Institute of Nanotechnologies, Electronics and Equipment Engineering (e-mail: semina@sfedu.ru; tel.: +7 (928) 610-96-15; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4263-5103>).

Comprehensive assessment of potential microbial risk associated with waterborne infectious diseases was performed including retrospective analysis of its trends and seasonal characteristics. Accuracy of medium-term extrapolation prediction of microbial risk was comparatively analyzed using regression and neural network models. A complex indicator was calculated for water in the Lower Don River in 2005–2020 for two sanitary-hygienic factors (Sources of Centralized Household and Drinking Water Supply and Recreational Water Use). Its value based on a five-level classifier amounted to 0.612. This made it possible to determine a very high level of potential microbial risk associated with spread of waterborne infections with its typical summer-autumn seasonal rise.

Due to optimization measures, a stable favorable trend was formed per the factor 'Centralized Household and Drinking Water Supply'. The value of the three-factor complex indicator (0.525) made it possible to establish a high level of potential microbial risk associated with spread of waterborne intestinal infections. A statistically significant ($p < 0.01$) direct medium correlation was established between incidence of acute intestinal infections and salmonellosis and the level of potential microbial risk. Neural network models were confirmed to provide higher accuracy for medium-term microbial risk predictions.

Keywords: water of open watercourses, sanitary-microbiological indicators, potentially pathogenic microorganisms, salmonella, potential microbial risk, epidemic risk assessment, waterborne intestinal infections, multilayer forward propagation perceptron, medium-term prediction, socio-hygienic monitoring.

References

1. Popova A.Yu. Strategic priorities of the Russian Federation in the field of ecology from the position of preservation of health of the nation. *ZNiSO*, 2014, no. 2 (251), pp. 4–7 (in Russian).
2. Onishchenko G.G. Actual problems of hygiene science and practice in the preservation of public health. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 3, pp. 5–9 (in Russian).
3. Rakhmanin Yu.A., Doronina O.D. Strategic approaches to risk management to reduce human vulnerability due to water factor changes. *Gigiena i sanitariya*, 2010, no. 2, pp. 8–13 (in Russian).
4. Nedachin A.Ye., Artemova T.Z., Dmitriyeva R.A., Doskina T.V., Talayeva Yu.G., Ivanova L.V., Butorina N.N., Lavrova D.V. [et al.]. Problems of epidemic safety of drinking water use by the population of Russia. *Gigiena i sanitariya*, 2005, no. 6, pp. 14–18 (in Russian).
5. Mehantsev I.I. Sanitary, hygienic and epidemiological aspects of recreational water use of the population of the Upper Don River basin. *ZNiSO*, 2020, no. 12 (333), pp. 23–29. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-23-29 (in Russian).
6. Mertens A., Arnold B.F., Benjamin-Chung J., Boehm A.B., Brown J., Capone D., Clasen T., Fuhrmeister E.R. [et al.]. Is detection of enteropathogens and human or animal faecal markers in the environment associated with subsequent child enteric infections and growth: an individual participant data meta-analysis. *Lancet Glob. Health*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. e433–e444. DOI: 10.1016/s2214-109x(23)00563-6
7. Wu B., Wang C., Zhang C., Sadowsky M.J., Dzakpasu M., Wang X.C. Source-Associated Gastroenteritis Risk from Swimming Exposure to Aging Fecal Pathogens. *Environ. Sci. Technol.*, 2020, vol. 54, no. 2, pp. 921–929. DOI: 10.1021/acs.est.9b01188
8. de Santana C.O., Spealman P., Azulai D., Reid M., Dueker M.E., Perron G.G. Bacteria communities and water quality parameters in riverine water and sediments near wastewater discharges. *Sci. Data*, 2022, vol. 9, no. 1, pp. 578. DOI: 10.1038/s41597-022-01686-8
9. Pereira M.A., Palmeira J.D., Ferreira H. Contamination of a Water Stream and Water Drainage Reaching Matosinhos Beach by Antibiotic-Resistant Bacteria. *Microorganisms*, 2023, vol. 11, no. 12, pp. 2833. DOI: 10.3390/microorganisms11122833
10. Trukhina G.M., Iaroslavtseva M.A., Dmitrieva N.A. Current Trends in Sanitary Microbiology within Implementation of Sanitary and Epidemiological Surveillance of Safety of Water Bodies. *ZNiSO*, 2022, vol. 30, no. 10, pp. 16–24. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-16-24 (in Russian).
11. Rakhmanin Yu.A., Ivanova L.V., Artyomova T.Z., Gipp E.K., Zagaynova A.V., Maksimkina T.N., Krasnyak A.V., Zhuravlev P.V. [et al.]. Comparative assessment of the sanitary and epidemic importance of coliform indicators of the drinking water quality. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 3, pp. 237–249. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-3-237-249 (in Russian).
12. Savilov Ye.D., Anganova Ye.V. Microbiological monitoring of water ecosystems. *Gigiena i sanitariya*, 2010, vol. 89, no. 5, pp. 56–58 (in Russian).
13. Cui Q., Huang Y., Wang H., Fang T. Diversity and abundance of bacterial pathogens in urban rivers impacted by domestic sewage. *Environ. Pollut.*, 2019, vol. 249, pp. 24–35. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.02.094
14. Holcomb D.A., Stewart J.R. Microbial Indicators of Fecal Pollution: Recent Progress and Challenges in Assessing Water Quality. *Curr. Environ. Health Rep.*, 2020, vol. 7, no. 3, pp. 311–324. DOI: 10.1007/s40572-020-00278-1
15. Korajkic A., McMinn B.R., Harwood V.J. Relationships between Microbial Indicators and Pathogens in Recreational Water Settings. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, vol. 15, no. 12, pp. 2842. DOI: 10.3390/ijerph15122842
16. Denpetkul T., Pumkaew M., Sittipunsakda O., Sresung M., Chyerochana N., Kongprajug A., Rattanukul S., Patarapongsant Y. [et al.]. Quantitative microbial risk assessment of the gastrointestinal risks to swimmers at Southeast Asian urban beaches using site-specific and combined autochthonous and fecal bacteria exposure data. *Sci. Total Environ*, 2023, vol. 902, pp. 165818. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165818
17. Gorski L., Rivadeneira P., Cooley M.B. New strategies for the enumeration of enteric pathogens in water. *Environ. Microbiol. Rep.*, 2019, vol. 11, no. 6, pp. 765–776. DOI: 10.1111/1758-2229.12786
18. Zagaynova A.V., Rakhmanin Yu.A., Talayeva Yu.G., Ivanov S.I., Artemova T.Z., Nedachin A.Ye., Gipp Ye.K., Butorina N.N. Microbial risk assessment to establish water quality-enteric infection morbidity relationships. *Gigiena i sanitariya*, 2010, no. 3, pp. 28–31 (in Russian).

19. Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Kovalev E.V., Shvager M.M. Comprehensive study of the microbial risk of acute intestinal infections occurrence when assessing the epidemiological safety of drinking water use. *Infektsionnye bolezni: novosti, mneniya, obuchenie*, 2018, vol. 7, no. 3 (26), pp. 7–14. DOI: 10.24411/2305-3496-2018-13001 (in Russian).

20. Zaitseva N.V., Kleyn S.V., May I.V., Savochkina A.A., Kiryanov D.A., Kamaltdinov M.R., Vekovshinina S.A. Methodical grounds and experience gained in implementing complex assessment of activities aimed at risk to public health and effectiveness of measures to improve the quality of drinking water in centralized water supply systems. *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 11, pp. 1403–1411. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1403-1411 (in Russian).

21. Zaitseva N.V., Sboev A.S., Kleyn S.V., Vekovshinina S.A. Drinking water quality: health risk factors and efficiency of control and surveillance activities by Rospotrebnadzor. *Health Risk Analysis*, 2019, no. 2, pp. 44–55. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.05.eng

22. Zaitseva N.V., Onishchenko G.G., May I.V., Shur P.Z. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 3, pp. 4–20. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.01.eng

23. Onishchenko G.G. Development of the risk analysis methodology given the current safety challenges for public health in the Russian Federation: vital issues and prospects. *Health Risk Analysis*, 2023, no. 4, pp. 4–18. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.01.eng

24. Trukhina G.M. Assessment of an environmental microbiological risk to the population's health in the sociohygienic monitoring system. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*, 2008, no. 1, pp. 43 (in Russian).

25. Schoen M.E., Boehm A.B., Soller J., Shanks O.C. Contamination Scenario Matters when Using Viral and Bacterial Human-Associated Genetic Markers as Indicators of a Health Risk in Untreated Sewage-Impacted Recreational Waters. *Environ. Sci. Technol.*, 2020, vol. 54, no. 20, pp. 13101–13109. DOI: 10.1021/acs.est.0c02189

26. González-Fernández A., Symonds E.M., Gallard-Gongora J.F., Mull B., Lukasik J.O., Navarro P.R., Aguilar A.B., Peraud J. [et al.]. Risk of Gastroenteritis from Swimming at a Wastewater-Impacted Tropical Beach Varies across Localized Scales. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2023, vol. 89, no. 3, pp. e0103322. DOI: 10.1128/aem.01033-22

27. Bhatt A., Dada A.C., Prajapati S.K., Arora P. Integrating life cycle assessment with quantitative microbial risk assessment for a holistic evaluation of sewage treatment plant. *Sci. Total Environ.*, 2023, vol. 862, pp. 160842. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160842

28. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I. Improvement of the system of social and hygienic monitoring of territories of large cities. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 4, pp. 298–301. DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-4-298-301 (in Russian).

29. Rakhmanin Yu.A., Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Panasovets O.V. Application of the new culture medium for the isolation of salmonella from water bodies to assess the epidemic safety of water use. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 5, pp. 483–490. DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-4-298-301 (in Russian).

30. Parkhomenko S.S., Ledeneva T.M. Training neural networks of the method Levenberg – Marquardt in larger the amount of data. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemyi analiz i informatsionnye tekhnologii*, 2014, no. 2, pp. 98–106 (in Russian).

31. Remezova A.A., Tynchenko V.V. Primenenie iskusstvennykh neironnykh setei dlya resheniya zadach prognozirovaniya [Application of artificial neural networks to solve prediction problems]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*, 2021, vol. 1, no. 7, pp. 371–374 (in Russian).

32. Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Panasovets O.P., Aidinov G.V., Shvager M.M., Mitrofanova T.V., Glukhov A.A., Dzhansheyidov B.Kh. [et al.]. Sanitary and bacteriological characteristics of water of the Lower Don. *Gigiena i sanitariya*, 2012, vol. 91, no. 4, pp. 28–31 (in Russian).

Marchenko B.I., Zhuravlev P.V., Deryabkina L.A., Nesterova O.A. Assessment of potential microbial risk caused by spread of waterborne infectious diseases in a river area with intensive water use. Health Risk Analysis, 2024, no. 4, pp. 81–96. DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.08.eng

Получена: 22.07.2024

Одобрена: 28.11.2024

Принята к публикации: 19.12.2024