

УДК 579.63:556.53

РАНЖИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО САНИТАРНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ: МЕТОДЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Иванов Федор Дмитриевич,

Федеральное бюджетное учреждение науки «Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора, Ростов-на-Дону,
Российская Федерация
e-mail: ivanov-microbio@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрены подходы к оценке и ранжированию поверхностных вод по санитарно-микробиологическим показателям. Проанализированы нормативная оценка соответствия, интегральные индексы качества воды, методы многокритериального анализа и количественная оценка микробного риска. Показано, что нормативный подход обеспечивает принятие административных решений, но ограниченно учитывает пространственную и временную вариабельность загрязнения. Индексы WQI и методы MCDM позволяют сопоставлять водные объекты по совокупности показателей, однако результат зависит от выбора параметров, их весов и способа агрегации данных. QMRA дополнительно учитывает сценарий экспозиции и зависимость «доза – ответ», но требует данных о патогенах, объёме контакта и параметрах дозовой модели. Предлагается рассматривать интегральное ранжирование как инструмент для определения приоритетных объектов мониторинга, а QMRA – для последующей количественной характеристики риска при отдельных сценариях водопользования.

Ключевые слова: поверхностные водоемы, бактериальное загрязнение, санитарно-показательные микроорганизмы, ранжирование, индексы качества воды (WQI), количественная оценка микробного риска, Дон

APPROACHES TO RANKING SURFACE WATER BODIES USING SANITARY-MICROBIOLOGICAL INDICATORS: METHODS AND LIMITATIONS

Ivanov Fedor Dmitrievich,

Rostov Scientific Research Institute of Microbiology and Parasitology, Rostov-on-Don, 344000
Russia

ABSTRACT

The article examines approaches to evaluating and ranking surface waters based on sanitary-microbiological indicators. The author analyzes regulatory compliance assessment, water

quality indices (WQIs), multi-criteria decision-making (MCDM) methods, and quantitative microbial risk assessment (QMRA). The review shows that while the regulatory approach facilitates administrative decision-making, it provides a limited account of the spatial and temporal variability of pollution. WQIs and MCDM methods enable the comparison of water bodies across a combination of indicators; however, the outcomes depend heavily on the selection of parameters, their weights, and data aggregation techniques. QMRA further accounts for exposure scenarios and dose-response relationships, yet it demands specific data regarding pathogens, contact volume, and dose-response model parameters. The article concludes that integrated ranking may be used to identify priority monitoring sites, whereas QMRA may subsequently be applied to quantify risk under specific water-use scenarios.

Keywords: surface water bodies, bacterial contamination, sanitary indicator microorganisms, ranking, water quality indices, quantitative microbial risk assessment, Don River basin.

Введение

Качество питьевой воды остаётся критическим фактором, определяющим санитарно-эпидемиологическую безопасность населения. В условиях нарастающей антропогенной нагрузки на поверхностные водоисточники – реки и родники – возрастает вероятность их загрязнения патогенными и условно-патогенными микроорганизмами. Наличие санитарно-показательных микроорганизмов указывает на возможное фекальное загрязнение и может использоваться для предварительной характеристики потенциального риска кишечных инфекций, но не заменяет непосредственное выявление патогенов и эпидемиологическую оценку [1, 2]. Для регионов с интенсивным промышленным и аграрным освоением, таких как Ростовская агломерация, где водозабор осуществляется из бассейна р. Дон, это ограничивает надёжность санитарной оценки воды, поскольку эффективность очистных сооружений не всегда компенсирует высокий фон загрязнения источника [3-6]. Ростовская область подвержена влиянию антропогенной нагрузки, испытывает маловодье [7]. В этой связи для оперативного и стратегического управления водопользованием требуется не только констатация факта загрязнения, но и его количественная градация – ранжирование водных объектов по уровню микробного загрязнения. Такое ранжирование позволяет дифференцировать риски для населения, обосновывать приоритетность водоохраных мероприятий и корректировать режимы водоподготовки. Однако методологические подходы к построению шкал ранжирования варьируются: от простого сопоставления с нормативными показателями, включая ОМЧ, до многокритериальных индексов, учитывающих совокупность санитарно-микробиологических, физико-химических и гидрологических параметров.

Представленная работа направлена на нарративный обзор отечественных и зарубежных публикаций, посвящённых нормативной оценке, интегральным индексам, многокритериальному анализу и количественной оценке микробного риска при санитарно-гигиеническом исследовании поверхностных вод.

Цель обзора – сопоставить указанные подходы, определить область их применения и охарактеризовать ограничения, препятствующие использованию интегральных оценок в российской санитарно-эпидемиологической практике. Литературу отбирали по тематическому соответствию рассматриваемой проблеме и методологической значимости публикаций. Формальный систематический протокол поиска и количественный метаанализ не применяли.

Базовые санитарно-микробиологические показатели

Оценка бактериального загрязнения опирается на определении численности санитарно-показательных микроорганизмов. Они выступают в качестве индикаторов, численность которых является косвенным показателем санитарно-эпидемиологического риска. Выделяют три группы: индикаторы фекального загрязнения, индикаторы орального загрязнения и индикаторы самоочищения. К индикаторам фекального загрязнения относят обитателей желудочно-кишечного тракта, которые выделяются с фекалиями во внешнюю среду: бактерии группы кишечной палочки (БГКП), энтерококки, сульфит-редуцирующие клостридии и, в отдельных схемах, колифаги. Показателем недавнего фекального загрязнения считаются *E. coli* и кишечные энтерококки [1]. Присутствие *E. coli* отражает недавнее фекальное загрязнение, а сами бактерии быстро инактивируются во внешней среде. Энтерококки в ряде условий сохраняются в воде дольше, чем *E. coli*. Поэтому их обнаружение при отсутствии кишечной палочки может указывать на ранее произошедшее или продолжающееся фекальное загрязнение, однако по этому соотношению нельзя однозначно установить его давность без учёта гидрологических и физико-химических условий. Обнаружение спор сульфит-редуцирующих клостридий является индикатором давнего загрязнения. Колифаги считаются косвенным маркером вирусного загрязнения, но не являются прямым эквивалентом энтерических вирусов. Другие группы микроорганизмов могут использоваться в специальных схемах санитарной оценки, однако их включение в интегральный индекс требует отдельного обоснования и оценки информативности. Также определяют общее микробное число (ОМЧ), как показатель обсеменённости и индикатор органического загрязнения, но он не позволяет непосредственно судить о наличии фекального загрязнения или конкретных патогенов [8]. В последние годы изменения в отечественных методических документах привели к обновлению перечня определяемых показателей и расширили возможности сопоставления результатов с международной практикой. Вместе с тем сопоставимость зависит не только от названий показателей, но и от методов анализа, объёмов исследуемой воды, единиц выражения результатов, частоты отбора проб и нормативных значений. С 2023 года МУК 4.2.1018-01 отменён и заменён на МУК 4.2.3963-23. Такие показатели, как термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ), глюкозоположительные колиформные бактерии (ГКБ) и общие колиформные бактерии (ОКБ) заменены на обобщенные колиформные бактерии (ОКБ) и *Escherichia coli*, введено обязательное определение численности бактерий рода *Enterococcus*. Это позволяет проводить сравнение получаемых результатов [9].

При анализе результатов микробиологического мониторинга поверхностных водоемов необходимо четко разграничивать три методологических подхода.

Оценка качества воды – это отнесение водного объекта к определенному классу или категории безопасности путем прямого сопоставления фактического содержания микроорганизмов с нормативными значениями, установленными для конкретного вида водопользования.

Ранжирование водоемов – это линейное упорядочивание пунктов наблюдения, сезонов или водных объектов по заранее заданному критерию, например, концентрации индикаторных микроорганизмов или интегральному индексу [10].

Оценка риска – это определение численной вероятности развития неблагоприятных эффектов для здоровья при определённом сценарии воздействия и требует учёта экспозиции и зависимости «доза – ответ» [11].

Концептуальное различие подходов наглядно проявляется при использовании расчетных индексов. Математические индексы загрязнения – удобные инструменты для ранжирования, однако он не являются количественной оценкой вероятности инфекции. Для полноценного анализа риска индексных данных недостаточно. Расчеты требуют привлечения моделей экспозиции и обязательного учета путей воздействия,

инфицирующей дозы, частоты контакта и биологических свойств конкретных патогенов [12].

Нормативная оценка качества воды

Традиционный (гигиенический) подход к оценке качества поверхностных вод основан на сопоставлении измеренных значений с установленными гигиеническими нормативами. Его главная цель – обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения и сохранение биоресурсов. Качество воды оценивается применительно к цели и виду использования водного объекта.

В российском регулировании требования к качеству поверхностных вод устанавливаются с учётом вида водопользования и назначения конкретного водного объекта или его участка. В СанПиН 2.1.3684-21 к первой категории относят водные объекты, используемые для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности; ко второй категории – объекты рекреационного использования и участки водных объектов в черте населённых мест.

Таким образом, текущий подход опирается на жёсткую и дискретную оценку соответствия качества воды. Само по себе разовое сопоставление с нормативом не отражает сезонную и гидрологическую вариабельность показателей; для этого необходимы повторные наблюдения и анализ временных рядов. Нормативная оценка предназначена прежде всего для контроля безопасности водопользования и принятия административных решений. Она не заменяет оценку экологического состояния водного объекта и не позволяет самостоятельно охарактеризовать все долгосрочные или сценарно-зависимые риски для здоровья [13].

Методы интегральной оценки и статистического ранжирования

Бактериальное состояние поверхностных вод не может быть адекватно описано одним микробиологическим параметром. Содержание *E. coli*, кишечных энтерококков, общих колиформных бактерий, спорообразующих анаэробов и ОМЧ отражает принципиально разные аспекты и этапы загрязнения. Так, *E. coli* и кишечные энтерококки служат ключевыми индикаторами фекального загрязнения, однако сроки их выживания в водной среде существенно различаются. Показатель ОКБ менее специфичен, поскольку отдельные представители этой группы могут являться автохтонными обитателями гидроэкосистем. В свою очередь, ОМЧ отражает общую бактериальную обсемененность водоема, но не указывает напрямую на фекальное загрязнение. При этом обнаружение санитарно-показательных микроорганизмов не эквивалентно присутствию патогенов, а их численность служит лишь косвенным критерием санитарно-эпидемиологического риска [11]. Таким образом, для получения объективной и комплексной оценки санитарно-гигиенического состояния водных объектов необходим одновременный мониторинг вариативного комплекса микробиологических показателей. Только интегральный анализ динамики различных групп бактерий позволяет достоверно верифицировать характер, выраженность и потенциальную эпидемиологическую опасность загрязнения.

Математические модели ранжирования поверхностных водоемов

Для ранжирования водных объектов по уровню бактериального загрязнения активно применяются математические модели свёртки данных. Наиболее распространённым инструментом классификации и упорядочивания водоемов остаются индексы качества воды (water quality indexes, WQIs), среди которых ключевое место занимают модели Канадского совета министров окружающей среды (CCME WQI) и Национального санитарного фонда США (NSF WQI) [14]. Эти методики позволяют объединять несколько показателей в единый балл, однако состав показателей, их нормативные ориентиры и весовые коэффициенты должны быть адаптированы к типу водопользования и условиям конкретного региона. Поэтому использование *E. coli*, энтерококков и ОМЧ в одном индексе

не следует считать универсальным решением. Для некоторых схем агрегации характерен эффект затмения: высокий уровень загрязнения по одному показателю может недостаточно отражаться в итоговом балле при благоприятных значениях других показателей. Выраженность этого эффекта зависит от способа нормирования и объединения исходных данных. В литературе описаны по меньшей мере два способа уменьшить влияние этого ограничения:

Гибридный подход, использующий метод главных компонент (РСА) и кластерный анализ, для выявления взаимосвязей между показателями и группировки водных объектов и методы многокритериального анализа решений (multi-criteria decision-making, MCDM), например, метод анализа иерархий (АНР). Использование АНР позволяет присваивать микробиологическим индикаторам весовые коэффициенты в зависимости от их эпидемиологической значимости в конкретный гидрологический сезон [15];

Модели на основе нечеткой логики. Применение нечёткой логики позволяет описывать переходные состояния между классами качества без жёсткого отнесения объекта к одной категории [14].

Современные подходы: оценка микробного риска

Количественная оценка микробного риска — это вероятностный анализ риска инфекции или связанного с ней заболевания при заданном воздействии микроорганизма. Метод включает идентификацию опасности, оценку экспозиции, моделирование зависимости «доза—ответ» и характеристику риска. Для этого проводится мониторинг микроорганизмов, результаты которого обрабатываются с учётом пути воздействия, дозы и дозозависимой реакции организма человека. Таким образом, количество микроорганизмов в сочетании с параметрами экспозиции используется для расчёта вероятности инфекции или заболевания. Это особенно важно при сравнении участков с различными сценариями рекреационного использования: одинаковая концентрация индикаторов может соответствовать разному риску в зависимости от продолжительности контакта, объёма проглоченной воды и частоты посещений [16].

При вероятностной постановке QMRA для каждого водного объекта получают распределение оценок риска, отражающее вариабельность концентраций, параметров экспозиции и модели «доза—ответ». Концентрации патогенов, параметры их связи с индикаторными микроорганизмами и объём проглоченной воды задают вероятностными распределениями, параметры которых выбирают на основании данных о конкретном сценарии рекреационного контакта. В результате для каждого водного объекта получают распределение вероятности инфекции или заболевания за одно рекреационное событие и за сезон.

Ранжирование строят не по единичной оценке риска, а по статистике этого распределения: медиане, 90-му или 95-му процентилю, вероятности превышения выбранного порогового значения. Соответствующие нормативные или методические документы могут устанавливать пороговые значения в качестве ориентиров, но их нельзя рассматривать как универсальные для всех сценариев водопользования. Такой подход позволяет учитывать как типичный уровень загрязнения, так и экстремальные события, связанные с ливневым стоком или аварийными сбросами. В методической схеме верхние квантили риска могут использоваться для определения приоритетных объектов контроля, особенно при высокой неопределённости и наличии эпизодических источников загрязнения.

В качестве итоговых метрик для сравнения водных объектов удобно использовать вероятность желудочно-кишечного заболевания за одно купание, ожидаемое число случаев заболевания на 1 000 рекреационных событий или годовой риск инфекции при заданной частоте посещений. Эти показатели интуитивно понятны для лиц, принимающих решения,

и могут сопоставляться с ориентировочными уровнями риска, если такие уровни установлены для конкретного сценария водопользования и той же конечной точки риска. При представлении результатов QMRA следует отдельно учитывать вариабельность концентраций и параметров экспозиции, а также неопределённость, связанную с выбором модели «доза — ответ», параметрами модели и допущениями о сценарии воздействия [17].

Перспективы применения в российской практике

Применение интегральных индексов в российской практике ограничено тем, что действующие процедуры контроля ориентированы преимущественно на сопоставление отдельных показателей с нормативами. Поэтому интегральный индекс может использоваться как дополнительный аналитический инструмент для сравнения объектов и выбора приоритетов мониторинга, но не заменяет нормативную оценку, если его применение не закреплено в соответствующих документах. Для практического внедрения потребуется согласовать состав показателей, правила нормирования, весовые коэффициенты, формат представления результатов и процедуру их сопоставления с действующими требованиями. Второй фактор заключается в том, что даже усовершенствованные математические модели ранжирования фиксируют лишь относительную иерархию загрязненности водных объектов, но не позволяют оценить реальную дозовую инфекционную нагрузку на население. Таким образом, любое индексное или многокритериальное упорядочивание водных объектов должно рассматриваться лишь как предварительный этап пространственной приоритизации, требующий последующей верификации методами QMRA.

Заключение

Нормативная оценка сохраняет значение для контроля соответствия воды установленным требованиям и принятия административных решений. Вместе с тем бинарный результат ограниченно отражает пространственную и временную вариабельность микробиологических показателей и не характеризует риск при конкретном сценарии воздействия.

Интегральные индексы, методы многокритериального анализа и статистические процедуры могут использоваться для дополнительного сопоставления водных объектов и определения приоритетов мониторинга. Надёжность такого ранжирования зависит от состава показателей, способа их нормирования, весовых коэффициентов и метода агрегации. Индексный балл не следует интерпретировать как вероятность инфекции.

QMRA позволяет связать данные о концентрациях микроорганизмов с параметрами экспозиции и моделью «доза — ответ». Однако применение этого подхода требует информации о патогенах, сценариях водопользования и неопределённости исходных данных. С учётом рассмотренных ограничений интегральное или статистическое ранжирование может рассматриваться как этап предварительного отбора объектов, а QMRA — как инструмент последующей оценки риска для выбранных водных объектов и сценариев воздействия.

Список литературы:

1. Зубцов В. С., Шадрин Ф. С. Бактериальные индикаторы фекального загрязнения, выделенные в родниках г. Ростова-на-Дону // Оригинальные исследования. 2026. № 6. С. 189–196.
2. Санитарно-бактериологическое состояние воды в нижнем течении реки Дон в акватории гг. Ростова-на-Дону и Азова / Д. А. Седова, М. А. Морозова, Е. А. Пучкина, И. С. Березинская // Экология родного края: проблемы и пути их решения :

- Материалы Международной научно-практической конференции, Киров, 23–24 апреля 2024 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2024. – С. 157-159.
3. Морозова М. А. Санитарно-бактериологическая характеристика водопроводной воды г. Азов за период 2021-2022 гг. // Научно-практический журнал УНИВЕРСИТЕТСКАЯ КЛИНИКА. Донецк, 2022. Т. 2. С. 101–102.
 4. Калюжин, А. С. Гигиеническая оценка показателей водных объектов. Водоснабжение и здоровье населения в Г. Зернограде за 2016-2019 гг / А. С. Калюжин // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30 марта 2021 года. Том 1. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Институт развития дополнительного профессионального образования», 2021. – С. 123-125.
 5. Седова, Д. А. Балльная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций при питьевом и рекреационном водопользовании в г. Азове / Д. А. Седова // Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены : Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора, Лужки, 22–24 июня 2022 года. – Москва: Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, 2022. – С. 262-264.
 6. Морозова М. А. Гигиенические аспекты загрязнения *Klebsiella pneumoniae* воды, используемой для нужд населения городов Ростов-на-Дону и Азов // Оригинальные Исследования. 2025. Т. 15, № 8. С. 110–118.
 7. Григоренко К. С., Сорокина В. В., Шевердяев И. В., Солтан А. А., Сушко К. С., Клещенков А. В., Соьер В. Г., Алешина Е. Г. Актуальные аспекты изучения периодически пересыхающих акваторий в контексте углеродного цикла (на примере бассейна Нижнего Дона) // Океанологические исследования. 2022. № 4 (50). С. 73–100. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(4).4.
 8. Капустина Л. Л. Санитарно-экологическая оценка качества вод восточной части Финского залива по результатам микробиологических исследований // Российский журнал прикладной экологии. 2024. № 3. С. 11–20. DOI: 10.24852/2411-7374.2024.3.11.20.
 9. Трухина Г. М. Современные тенденции санитарной микробиологии в реализации санитарно-эпидемиологического надзора за безопасностью водных объектов / Г. М. Трухина, М. А. Ярославцева, Н. А. Дмитриева // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2022. – Т. 30, № 10. – С. 16-24. – DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-16-24.
 10. Almeelbi T., Alghamdi F. Development and evaluation of a recreational water quality index for the Red Sea Coastline, Saudi Arabia // Scientific Reports. 2026. Vol. 16. P. 23752. DOI: 10.1038/s41598-026-54623-9.
 11. Holcomb D. A., Stewart J. R. Microbial indicators of fecal pollution: Recent progress and challenges in assessing water quality // Current Environmental Health Reports. 2020. № 3 (7). P. 311–324. DOI: 10.1007/s40572-020-00278-1.
 12. Voltezou A., Giorgi E., Stefanis C., Kalentzis K., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Nena E., Voidarou C., Tsigalou C., Konstantinidis T. C., Bezirtzoglou E. Quantitative Microbial Risk

- Assessment of *E. coli* in Riverine and Deltaic Waters of Northeastern Greece: Monte Carlo Simulation and Predictive Perspectives // *Toxics*. 2025. Vol. 13, № 10. P. 863. DOI: 10.3390/toxics13100863.
13. Bogardi J. J., Leentvaar J., Sebesvári Z. *Biologia Futura: integrating freshwater ecosystem health in water resources management* // *Biologia Futura*. 2020. Vol. 71. № 4. P. 337–358. DOI: 10.1007/s42977-020-00031-7.
14. Chidiac S., El Najjar P., Ouaini N., El Rayess Y., El Azzi D. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2023. Vol. 22. № 2. P. 349–395. DOI: 10.1007/s11157-023-09650-7.
15. Sutadian A. D., Muttill N., Yilmaz A. G., Perera B. J. C. Using the Analytic Hierarchy Process to identify parameter weights for developing a water quality index // *Ecological Indicators*. 2017. Vol. 75. P. 220–233. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.12.043.
16. World Health Organization. *Guidelines on Recreational Water Quality. Volume 1: Coastal and Fresh Waters*. 1st ed. Geneva: World Health Organization, 2021. 164 p.
17. Ngo H., Parmley E. J., Ricker N., Winder C., Murphy H. M. Quantitative microbial risk assessment of acute gastrointestinal illness attributable to freshwater recreation in Ontario // *Canadian Journal of Public Health = Revue Canadienne De Sante Publique*. 2025. Vol. 116. № 4. P. 582–597. DOI: 10.17269/s41997-024-00969-4.

References

1. Zubtsov V. S., Shadrin F. S. Bakterial'nye indikatory fekal'nogo zagryazneniya, vydelennye v rodnikakh g. Rostova-na-Donu [Bacterial indicators of fecal contamination isolated from springs in Rostov-on-Don]. *Original'nye issledovaniya* [Original Research]. 2026;(6):189–196. (In Russian).
2. Sedova D. A., Morozova M. A., Puchkina E. A., Berezinskaya I. S. Sanitarno-bakteriologicheskoe sostoyanie vody v nizhnem techenii reki Don v akvatorii gg. Rostova-na-Donu i Azova [Sanitary-bacteriological condition of water in the lower reaches of the Don River within the aquatic areas of Rostov-on-Don and Azov]. In: *Ekologiya rodnogo kraia: problemy i puti ikh resheniya: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kirov, 23–24 aprelya 2024 goda* [Ecology of the Native Region: Problems and Ways of Their Solution: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Kirov, April 23–24, 2024]. Kirov: Vyatskii gosudarstvennyi universitet; 2024. p. 157–159. (In Russian).
3. Morozova M. A. Sanitarno-bakteriologicheskaya kharakteristika vodoprovodnoi vody g. Azov za period 2021–2022 gg. [Sanitary-bacteriological characteristics of tap water in Azov during 2021–2022]. *Nauchno-prakticheskii zhurnal Universitetskaya klinika* [University Clinic: Research and Practical Journal]. 2022; 2:101–102. (In Russian).
4. Kalyuzhin A. S. Gigienicheskaya otsenka pokazatelei vodnykh ob'ektov. Vodosnabzhenie i zdorov'e naseleniya v g. Zernograde za 2016–2019 gg. [Hygienic assessment of water body indicators. Water supply and public health in Zernograd during 2016–2019]. In: *Teoreticheskie i prikladnye voprosy kompleksnoi bezopasnosti: materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Sankt-Peterburg, 30 marta 2021*

- goda. Tom 1 [Theoretical and Applied Issues of Comprehensive Safety: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, Saint Petersburg, March 30, 2021. Vol. 1]. Moscow: Institut razvitiya dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya; 2021. p. 123–125. (In Russian).
5. Sedova D. A. Ball'naya otsenka riska vzniknoveniya bakterial'nykh kishhechnykh infektsii pri pit'evom i rekreatsionnom vodopol'zovanii v g. Azove [Point-based assessment of the risk of bacterial intestinal infections associated with drinking and recreational water use in Azov]. In: Sovremennye problemy epidemiologii, mikrobiologii i gigieny: materialy XIV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov Rospotrebnadzora, Luzhki, 22–24 iyunya 2022 goda [Current Problems of Epidemiology, Microbiology and Hygiene: Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists of Rospotrebnadzor, Luzhki, June 22–24, 2022]. Moscow: Federal'nyi nauchnyi tsentr gigieny im. F. F. Erismana; 2022. p. 262–264. (In Russian).
 6. Morozova M. A. Gigienicheskie aspekty zagryazneniya Klebsiella pneumoniae vody, ispol'zuemoi dlya nuzhd naseleniya gorodov Rostov-na-Donu i Azov [Hygienic aspects of Klebsiella pneumoniae contamination of water used by the populations of Rostov-on-Don and Azov]. Original'nye issledovaniya [Original Research]. 2025;15(8):110–118. (In Russian).
 7. Grigorenko K. S., Sorokina V. V., Sheverdyayev I. V., Soltan A. A., Sushko K. S., Kleshchenkov A. V., Soyev V. G., Aleshina E. G. Aktual'nye aspekty izucheniya periodicheskoi peresykhayushchikh akvatorii v kontekste uglerodnogo tsikla (na primere basseina Nizhnego Dona) [Current aspects of studying periodically drying water areas in the context of the carbon cycle: a case study of the Lower Don basin]. Okeanologicheskie issledovaniya [Oceanological Studies]. 2022;(4):73–100. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(4).4. (In Russian).
 8. Kapustina L. L. Sanitarno-ekologicheskaya otsenka kachestva vod vostochnoi chasti Finskogo zaliva po rezul'tatam mikrobiologicheskikh issledovaniy [Sanitary-ecological assessment of water quality in the eastern part of Gulf of Finland based on microbiological studies]. Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]. 2024;(3):11–20. doi:10.24852/2411-7374.2024.3.11.20. (In Russian).
 9. Trukhina G. M., Yaroslavtseva M. A., Dmitrieva N. A. Sovremennye tendentsii sanitarnoi mikrobiologii v realizatsii sanitarno-epidemiologicheskogo nadzora za bezopasnost'yu vodnykh ob'ektov [Current trends in sanitary microbiology in the implementation of sanitary and epidemiological surveillance of water body safety]. Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO [Population Health and Habitat – ZNiSO]. 2022;30(10):16–24. doi:10.35627/2219-5238/2022-30-10-16-24. (In Russian).
 10. Almeelbi T., Alghamdi F. Development and evaluation of a recreational water quality index for the Red Sea Coastline, Saudi Arabia // Scientific Reports. 2026. Vol. 16. P. 23752. DOI: 10.1038/s41598-026-54623-9.
 11. Holcomb D. A., Stewart J. R. Microbial indicators of fecal pollution: Recent progress and challenges in assessing water quality // Current Environmental Health Reports. 2020. № 3 (7). P. 311–324. DOI: 10.1007/s40572-020-00278-1.

12. Voltezou A., Giorgi E., Stefanis C., Kalentzis K., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Nena E., Voidarou C., Tsigalou C., Konstantinidis T. C., Bezirtzoglou E. Quantitative Microbial Risk Assessment of *E. coli* in Riverine and Deltaic Waters of Northeastern Greece: Monte Carlo Simulation and Predictive Perspectives // *Toxics*. 2025. Vol. 13, № 10. P. 863. DOI: 10.3390/toxics13100863.
13. Bogardi J. J., Leentvaar J., Sebesvári Z. *Biologia Futura: integrating freshwater ecosystem health in water resources management* // *Biologia Futura*. 2020. Vol. 71. № 4. P. 337–358. DOI: 10.1007/s42977-020-00031-7.
14. Chidiac S., El Najjar P., Ouaini N., El Rayess Y., El Azzi D. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2023. Vol. 22. № 2. P. 349–395. DOI: 10.1007/s11157-023-09650-7.
15. Sutadian A. D., Muttill N., Yilmaz A. G., Perera B. J. C. Using the Analytic Hierarchy Process to identify parameter weights for developing a water quality index // *Ecological Indicators*. 2017. Vol. 75. P. 220–233. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.12.043.
16. World Health Organization. *Guidelines on Recreational Water Quality. Volume 1: Coastal and Fresh Waters*. Geneva: World Health Organization, 2021. 164 p.
17. Ngo H., Parmley E. J., Ricker N., Winder C., Murphy H. M. Quantitative microbial risk assessment of acute gastrointestinal illness attributable to freshwater recreation in Ontario // *Canadian Journal of Public Health = Revue Canadienne De Sante Publique*. 2025. Vol. 116. № 4. P. 582–597. DOI: 10.17269/s41997-024-00969-4.