

Эрдниева Л.П.¹, Микеров А.Н.^{1,2}, Кузянов Д.А.¹, Моисеева Е.М.¹, Гусев Ю.С.¹

Трёхкомпонентная система биотестирования для оценки санитарно-химической безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения

¹Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, 410022, Саратов, Россия;

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 410012, Саратов, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Применение нескольких биотестов, объединённых в систему биотестирования, способно повысить информативность оценки токсичности проб воды поверхностных и подземных водоисточников.

Цель работы — определить эффективность применения трёхкомпонентной системы биотестирования для оценки санитарно-химической безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения.

Материалы и методы. В работе исследовали пробы питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения, отобранные на территории Саратовской области. Гигиеническую безопасность проб воды оценивали по 45 физико-химическим показателям. Одновременно оценивали токсичность проб воды методом биотестирования с использованием трёхкомпонентной системы биотестов.

Результаты. Физико-химический анализ выявил, что 56 проб воды из 69 не соответствовали гигиеническим требованиям, регламентированным СанПиН 1.2.3685–21. По результатам биотестирования токсические эффекты у одной или нескольких тест-культур вызывали 53 пробы воды, из которых в 45 зафиксированы превышения нормативов по оцениваемым физико-химическим показателям, а в 8 превышения не выявлены. По сравнению с использованием отдельных биотестов эффективность их совместного применения в составе трёхкомпонентной системы составила 80% от количества нестандартных проб воды, выявленных с помощью физико-химических методов анализа.

Ограничения исследования касаются использования специального оборудования и приборов измерения.

Заключение. Результаты исследования показали, что эффективность биотестирования для оценки санитарно-химической безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения значительно возрастает при объединении тест-объектов в трёхкомпонентную систему по сравнению с использованием отдельных биотестов.

Ключевые слова: водные источники; санитарно-химическая безопасность; биотестирование; питьевая вода

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» (протокол заседания № 18 от 01.09.2022 г.), проведено согласно общепринятым научным принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.).

Для цитирования: Эрдниева Л.П., Микеров А.Н., Кузянов Д.А., Моисеева Е.М., Гусев Ю.С. Трёхкомпонентная система биотестирования для оценки санитарно-химической безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(10): 1375–1380. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1375-1380> <https://elibrary.ru/dtakwz>

Для корреспонденции: Эрдниева Леонид Петрович, e-mail: leonid-erdniev@yandex.ru

Участие авторов: Эрдниева Л.П. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, написание текста; Микеров А.Н. — редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Кузянов Д.А. — сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, редактирование; Моисеева Е.М. — редактирование; Гусев Ю.С. — статистическая обработка данных, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 22.07.2025 / Принята к печати: 15.10.2025 / Опубликовано: 14.11.2025

Leonid P. Erdniev¹, Anatoly N. Mikerov^{1,2}, Dmitry A. Kuzyanov¹, Yelizaveta M. Moiseeva¹, Yury S. Gusev¹

Three-components biotesting system for assessing the sanitary and chemical safety of drinking water and drinking water sources

¹Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation;

²Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, 410012, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The use of multiple bioassays integrated into a bioassessment system can enhance the reliability and informativeness of evaluation results of toxicity for water samples.

The purpose of the work. To evaluate the effectiveness of a three-component bioassay system for assessing the sanitary and chemical safety of drinking water and drinking water sources.

Materials and Methods. This study examined samples of drinking water and water sources of drinking water supply collected in the Saratov region. The sanitary safety of the water samples was evaluated using forty five physicochemical indices. Simultaneously, sample toxicity was assessed via biotesting using a three-component bioassay system.

Results. Physicochemical analysis revealed that 56 out of 69 water samples did not comply with the hygienic standards established by SanPiN 1.2.3685–21. According to the results of biotesting, 53 samples exhibited toxic effects on one or more test organisms. Among these, 45 samples also showed exceedances of the

regulatory limits for physicochemical indices, while 8 did not. Compared to the use of individual biotests, the combined application of three biotests within a three-components biotesting system demonstrated an effectiveness of 80% in detecting non-compliant samples, as identified by physicochemical analysis.

Limitations. The study is limited by the requirement for specialized equipment.

Conclusion. The results of the study demonstrated the effectiveness of bioassays for assessing the sanitary and chemical safety of drinking water and water from drinking water sources significantly to increase when test organisms are combined into a three-components system, compared to the use of individual bioassays.

Keywords: water sources; sanitary and chemical safety; biotesting; drinking water

Compliance with ethical standards. Study approval was provided by the Local Ethics Committee of the Saratov Hygiene Medical Research Center of the FBSI "FSC Medical and Preventive Health Risk Management Technologies" (meeting protocol No. 18 dated September 1, 2022) and was conducted in accordance with the generally accepted scientific principles of the Declaration of Helsinki of the World Medical Association (2013 revision).

For citation: Erdniev L.P., Mikerov A.N., Kuzyanov D.A., Moiseeva Ye.M., Gusev Yu.S. Three-components biotesting system for assessing the sanitary and chemical safety of drinking water and drinking water sources. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(10): 1375–1380. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-10-1375-1380> <https://elibrary.ru/dtakwz> (In Russ.)

For correspondence: Leonid P. Erdniev, e-mail: leonid-erdniev@yandex.ru

Contribution: Erdniev L.P. – the concept and design of the study, editing, collection of material, writing text; Mikerov A.N. – editing; Kuzyanov D.A. – collection and processing of material, statistical processing, editing; Moiseeva Ye.M. – editing; Gusev Yu.S. – statistical processing, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Funding. The study had no sponsorship.

Received: July 22, 2025 / Accepted: October 15, 2025 / Published: November 14, 2025

Введение

Внимание к оценке санитарно-химической безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения подтверждают многочисленные научные публикации, нормативно-методические документы и исследовательские проекты, направленные на разработку, внедрение новых методов контроля и совершенствование существующих. Обеспечение безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения в России отмечено как актуальная задача в федеральном проекте «Чистая вода», национальном проекте «Экология», Указе Президента Российской Федерации¹. Питьевой водой, соответствующей требованиям МР 2.1.4.0289–22², в 2023 г. было обеспечено только 87% населения России, а более 19 млн человек подвергались риску инфекционных болезней, ассоциированных с некачественной питьевой водой³. Выбор для исследования аридной территории Саратовской области обусловлен её спецификой – влиянием агрессивных климатических факторов и относительно низкой обеспеченностью населения качественной питьевой водой по сравнению со средними показателями по Российской Федерации. Так, согласно Государственному докладу «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения в Российской Федерации в 2023 году», в Саратовской области 75,78% источников централизованного питьевого водоснабжения не соответствовали установленным санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Предотвращение негативного влияния водного фактора на здоровье населения – одна из задач социально-гигиенического мониторинга. Её решение базируется на оценке уровня риска для здоровья населения и интегральной оценке химической безвредности в соответствии с Р 2.1.10.3968–23⁴ и МР 2.1.4.0032–11⁵. В соответствии с этими документами оценка проводится по результатам сравнения выявленных концентраций химических веществ со значениями их предельно допустимых концентрации (ПДК) или ориен-

тировочно допустимых уровней (ОДУ), значения которых регламентированы СанПиН 1.2.3685–21⁶. Для обоснования нормативных значений содержания химических веществ в воде используются методы токсикологических исследований на лабораторных животных согласно МУ 2.1.5.720–98⁷.

Для скрининговой токсикологической оценки проб воды в биологических лабораториях применяют методы биотестирования в соответствии с МР № ЦОС ПВ Р 005–95⁸ и МР 01.021–07⁹. Ограниченность применения методов биотестирования для оценки санитарно-химической безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения обусловлена низкой информативностью методов биотестирования, связанной с использованием только одного универсального биотеста. Использование отдельных тест-объектов без интеграции их в систему биотестов, взаимно дополняющих друг друга по чувствительности к различным группам токсикантов, снижает эффективность таких методик при оценке безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения. Использование нескольких биотестов, объединённых в систему, позволяет повысить информативность методов биотестирования при определении токсичности проб воды [1–4].

Цель исследования – определить эффективность применения трёхкомпонентной системы биотестирования для оценки санитарно-химической безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения.

Материалы и методы

В рамках исследования рассмотрены результаты физико-химического анализа и биотестирования 69 проб воды, отобранных равными частями в апреле, июле и октябре 2023 г. из кранов потребителей и источников питьевого водоснабжения (поверхностных и подземных) на аридной территории Саратовской области. Пробы воды из поверхностных водоисточников ($n = 18$) отобраны из рек Большой Узень, Малый Узень, Еруслан. Качество питьевой воды, прошедшей водоподготовку и подаваемой населению из этих водоисточни-

¹ Указ Президента РФ от 11 марта 2019 г. № 97 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу».

² МР 2.1.4.0289–22 «Комплексная оценка эффективности мероприятий по повышению качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения».

³ Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году».

⁴ Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания».

⁵ МР 2.1.4.0032–11 «Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности».

⁶ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

⁷ МУ 2.1.5.720–98 «Обоснование гигиенических нормативов химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

⁸ МР № ЦОС ПВ Р 005–95 «Методические рекомендации по применению методов биотестирования для оценки качества воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения».

⁹ МР 01.021–07 «Методика экспрессного определения интегральной химической токсичности питьевых, поверхностных, грунтовых, сточных и очищенных сточных вод с помощью бактериального теста Эколюм».

Таблица 1 / Table 1

Количество нестандартных и токсичных проб воды по результатам физико-химического анализа и биотестирования в зависимости от вида источника питьевого водоснабжения и месяца отбора проб

Number of non-compliant and toxic water samples based on physicochemical analysis and biotesting in relation to the type of drinking water source and sampling month

Показатель Index	Поверхностные источники питьевого водоснабжения и питьевая вода, подаваемая из этих источников samples Surface sources of drinking water supply and drinking water supplied from these sources samples			Питьевая вода из подземных источников питьевого водоснабжения Drinking water samples from subterranean potable water supply sources			Общее число проб Total number of samples, units
	Апрель April	Июль July	Октябрь October	Апрель April	Июль July	Октябрь October	
Число отобранных проб Number of collected samples	19	19	19	4	4	4	69
Число нестандартных проб Number of non-compliant samples	19	16	14	3	2	2	56
Число токсичных проб Number of samples exhibiting toxic effects on test cultures	17	15	13	3	3	2	53
Число токсичных проб, выявленных биотестом с использованием тест-культуры хлореллы обыкновенной (доля от количества токсичных проб, %) Number of toxic samples detected using a bioassay with the test culture <i>Chlorella vulgaris</i> (proportion of total toxic samples, %)	9	6	7	—	1	1	24 (45)
Число токсичных проб, выявленных биотестом с использованием тест-культуры сперматозоиды быка (доля от количества токсичных проб, %) Number of toxic samples detected using a bioassay with the test culture of bull sperm (proportion of total toxic samples, %)	15	10	7	2	2	1	37 (70)
Число токсичных проб, выявленных биотестом с использованием тест-культуры дафния большая (доля от количества токсичных проб, %) Number of toxic samples detected using a bioassay with the test culture <i>Daphnia magna</i> (proportion of total toxic samples, %)	3	5	—	—	1	—	9 (17)

ков, оценивалось по пробам воды из кранов потребителей ($n = 36$). Отбор выполняли в населённых пунктах с населением более 10 000 человек. Качество воды в подземных водисточниках оценивали по пробам воды из кранов потребителей ($n = 15$) с учётом подачи воды населению из артезианских скважин без предварительной водоподготовки.

Отбор, транспортировка и хранение проб соответствовали требованиям ГОСТ 31861—2012¹⁰.

Для проведения биотестирования использовались следующие тест-культуры: хлорелла обыкновенная (*Chlorella vulgaris*), дафния большая (*Daphnia magna*), сперматозоиды быка (*Bos taurus*). Культура хлореллы обыкновенной была предоставлена компанией ООО «Европолитест» (Россия). Сперматозоиды быка предоставлены ООО «Центр репродукции сельскохозяйственных животных Саратовской области» и соответствовали ГОСТ 26030—2015¹¹. Дафнии предоставлены Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова.

Исследования проб воды проводили в лаборатории физико-химического анализа Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора с применением методов титриметрического, спектрофотометрического анализа и атомно-абсорбционного спектроскопии. Выбор контролируемых показателей обусловлен требованиями, предъявляемыми к качеству питьевой воды СанПиН 1175—02¹².

Для биотестирования проб воды использовали материалы и оборудование в соответствии с требованиями методик. В частности, при биотестировании на хлорелле обыкновенной использовали методику ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10—04¹³. Оценку токсичности с использованием дафнии проводили в соответствии с методикой ФР.1.39.2007.03222¹⁴. Биотестирование на сперматозоидах быка осуществлялось в соответствии с МР 29ФУ/2688—2003¹⁵. В соответствии с представленными нормативно-методическими документами в качестве критериев оценки токсического эффекта использовались тест-реакции: для хлореллы обыкновенной — изменение оптической плотности раствора в опытной суспензии клеток микроводорослей относительно контрольной через 22 ч; для дафнии большой — выживаемость особей в опытной группе относительно контрольной в течение 48 ч; для сперматозоидов быка — изменение подвижности в опытной группе относительно контрольной.

Гигиеническую безопасность проб воды оценивали по 45 физико-химическим показателям, в том числе по обязательному минимуму (МР 2.1.4.0176—2016), в соответствии с норма-

¹³ ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10—04 «Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления».

¹⁴ ПНД Ф Т.14.1:2:4.12—06 «Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний (*Daphnia magna* Straus)».

¹⁵ МР 29ФУ/2688—2003 «Экспресс-метод оценки токсичности проб воздуха по водорастворимым компонентам с использованием в качестве тест-объектов спермы крупного рогатого скота».

¹⁶ МР 2.1.4.0176—20 «Организация мониторинга обеспечения населения качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения».

¹⁰ ГОСТ 31861—2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».

¹¹ ГОСТ 26030—2015 «Средства воспроизводства. Сперма быков замороженная».

¹² СанПиН 2.1.4.1175—02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников».

Таблица 2 / Table 2

Частота развития токсических эффектов у тест-культур трёхкомпонентной системы биотестов в ассоциации с наличием в пробах гидрохимических показателей, превышающих нормативно установленные значения

The incidence of toxic effects in test cultures of a three-component biotesting system in association with the presence of hydrochemical parameters exceeding regulatory thresholds in the samples

Оцениваемые показатели Evaluated indices	Кратность превышения нормативного значения, раз The number of times the standard value is exceeded, times	Число выявленных случаев превышения нормативного значения по показателям The number of recorded cases exceeding the regulatory limit for the specified parameters	Число выявленных токсических эффектов у тест-культур, ассоциированных с показателем, превышающим нормативное значение, абс. (доля от числа выявленных случаев превышения нормативного значения показателя, %) The number of identified toxic effects in test cultures associated with an index exceeding the regulatory threshold (proportion of cases in which the index surpassed the established standard, %)		
			хлорелла Chlorella	сперматозоиды быка bull sperm	дафнии daphnia
БПК ₅ / BOD ₅	1.6–34.7	17	7 (41)	11 (64)	2 (12)
Химическое потребление кислорода Chemical oxygen demand	3.0–9.9	16	7 (44)	9 (56)	1 (6)
Перманганатная окисляемость Permanganate oxidizability	1.1–2.8	26	8 (31)	16 (62)	5 (19)
Общая минерализация Total mineralization	1.1–1.9	5	2 (40)	2 (40)	—
Жёсткость общая Total hardness	1.1–2.3	11	1 (9)	4 (36)	—
Железо / Iron (Fe)	1.1–3.3	6	2 (33)	3 (50)	1 (17)
Бор / Boron (B)	1.1–1.5	6	3 (50)	1 (17)	1 (17)
Литий / Lithium (Li)	1.1–3.7	9	3 (33)	4 (44)	1 (11)
Натрий / Sodium (Na)	1.1–2.4	4	2 (50)	2 (50)	—
Хлориды / Chlorides (Cl ⁻)	1.1–2.2	4	2 (50)	2 (50)	—
Магний / Magnesium (Mg)	1.3–2.7	4	1 (25)	1 (25)	—
Марганец / Manganese (Mn)	1.1–1.4	3	—	1 (33)	—
Сульфаты / Sulfates (SO ₄ ²⁻)	1.2–1.3	2	1 (50)	1 (50)	—
Кальций / Calcium (Ca)	1.1–1.4	4	1 (25)	1 (25)	—
Бенз(а)пирен Benzo(a)pyrene (BaP)	1.5–2.4	2	—	2 (100)	—
Общая эффективность использования тест-культур Overall efficiency of test culture application		119	40 (34)	60 (50)	11 (9)

Примечание. БПК₅ — биохимическое потребление кислорода за 5 сут; «—» — величина показателя не превышает нормативных значений. Для обобщённых показателей (БПК₅, ХПК, ПО, ОМ и ЖО) кратность превышения рассчитана относительно нормативных значений согласно СанПиН 1.2.3685–21⁶; для остальных показателей — по отношению к утверждённому ПДК.

Note: BOD₅ — biochemical oxygen demand over five days; «—» index value does not exceed the maximum permissible concentration. For BOD₅, COD, PO, TM, and TH, exceedance is calculated relative to the guideline values in accordance with SanPiN 1.2.3685–21⁶; for the remaining parameters — relative to the officially established Maximum Allowable Concentrations (MACs).

тивными значениями, установленными СанПиН 1.2.3685–21⁶. Нестандартной пробой в работе называется проба воды с превышением нормативного значения по одному или нескольким показателям. По результатам биотестирования проба признавалась токсичной, если вызвала развитие токсического эффекта у одной или более тест-культур.

Результаты

Физико-химический анализ 69 проб воды позволил выявить 56 нестандартных проб, которые характеризовались превышением нормативных значений по одному и более показателям и не соответствовали требованиям гигиенической безопасности, регламентируемым СанПиН 1.2.3685–21⁶ (табл. 1).

Установлено, что количество нестандартных проб (пробы воды из поверхностных источников питьевого водоснабжения и пробы питьевой воды, подаваемой населению из этих источников) имело тенденцию к сниже-

нию от весны ($n = 19$) к осени ($n = 14$). Частота выявления нестандартных и токсичных проб из подземных источников питьевого водоснабжения за период наблюдения характеризовалась относительной стабильностью, что может быть связано с менее выраженным влиянием аридного климата на качество воды в подземных водоисточниках по сравнению с поверхностными. Параллельно с физико-химическим анализом оценивали токсичность отобранных проб воды методом биотестирования с использованием трёхкомпонентной системы биотестов. В результате были выявлены 53 пробы, которые вызвали токсические эффекты у одной и более тест-культур (см. табл. 1). Анализ динамики изменения количества токсичных проб воды из поверхностных источников питьевого водоснабжения и питьевой воды, подаваемой из этих источников, показал тренд к уменьшению количества токсичных проб от весны ($n = 17$) к осени ($n = 13$), что согласуется с трендом уменьшения количества нестандартных проб, выявленных физико-химическим анализом.

Из общего количества исследованных проб большинство характеризовалось превышением показателей биологического потребления кислорода (БПК₅; $n = 17$), химического потребления кислорода (ХПК; $n = 16$), перманганатной окисляемости (ПО; $n = 26$), концентрации железа ($n = 11$) (табл. 2).

Токсическое воздействие на тест-объекты выявлено в пробах с превышениями по ряду обобщённых показателей. В частности, доля токсичных проб с превышением нормативных значений по БПК₅, ХПК, ПО, жёсткости общей, общей минерализации составила от 36 до 64% для сперматозоидов быка, от 9 до 44% для культуры клеток хлореллы и от 6 до 19% для дафний (см. табл. 2). Пробы воды с повышенными концентрациями (от 1,3 до 3,3 ПДК) железа, лития, натрия, хлоридов, магния, марганца, сульфатов, кальция вызывали развитие токсического эффекта у сперматозоидов быка и хлореллы в 17–50% случаев, а у дафний большой – до 17% случаев.

Установлено, что 45 из 53 токсичных по результатам трёхкомпонентной системы биотестирования проб являются нестандартными и ассоциируются с превышением нормируемых значений по одному показателю и более (согласно МР 2.1.4.0176–20), а 8 не ассоциируются. Биотестирование с использованием тест-культуры хлореллы обыкновенной выявило 19 токсичных проб (42%), сперматозоидов быка – 30 проб (66%), дафний большой – 7 проб (16%) из 45 токсичных проб с превышением нормативных показателей. Общая эффективность использования трёхкомпонентной системы биотестов составила 80%.

Обсуждение

Результаты проведённого исследования показали значительное повышение эффективности выявления токсичных проб воды из источников питьевого водоснабжения и питьевой воды при использовании трёхкомпонентной системы биотестов (хлорелла обыкновенная, сперматозоиды быка, дафния большая) по сравнению с отдельными тест-культурами. Используемые тест-культуры обладали различной информативной значимостью. Так, доля нестандартных проб с подтверждённой на сперматозоидах быка токсичностью составила 66%, с подтверждением на культуре одноклеточных зелёных водорослей (хлорелла обыкновенная) – 42%, на дафнии большой – 16%. При этом общая эффективность применения трёхкомпонентной системы биотестов повышалась до 80%. Поскольку тест-объекты обладали различной чувствительностью к химическим веществам в пробе воды, объединение нескольких тест-объектов в систему биотестов повышало эффективность применения методов биотестирования для оценки безопасности воды.

Необходимо отметить, что использование трёхкомпонентной системы биотестирования позволило выявить токсичность 8 проб (12% от числа анализируемых проб), в которых не было отмечено превышения нормативных значений по результатам физико-химического анализа, что может свидетельствовать о потенциальной опасности негативного воздействия водного фактора на здоровье населения.

Проба воды во всех случаях должна рассматриваться как сложный раствор с множеством химических компонентов [5, 6]. В этом случае токсичность может объясняться воздействием химических веществ, не вошедших в оцениваемый перечень показателей, комбинируемым воздействием нескольких химических веществ или односторонним действием уже измеренных и зафиксированных примесей [7–10]. Результаты оценки токсичности проб воды указывали лишь на вероятность наличия или отсутствия в воде опасных концентраций химических веществ, что должно подтверждаться данными расширенного химического анализа, на основании которого делается заключение о соответствии воды установленным требованиям и её гигиенической безопасности [11–13]. Токсичность проб воды для тест-объектов также может свидетельствовать о наличии ненормируемых или неизвестных токсических веществ в водоисточнике при антропогенном загрязнении или о чрезвычайных ситуациях, что является основанием для расширения перечня контролируемых показателей [12]. При формировании расширенного перечня химических веществ для контроля безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения необходимо установить и оценить факторы потенциального загрязнения водоисточника.

Заключение

Результаты исследования продемонстрировали потенциал применения трёхкомпонентной системы биотестирования с использованием тест-объектов хлореллы обыкновенной, сперматозоидов быка и дафнии большой для выявления токсичных проб воды, в том числе в случаях, когда физико-химический анализ по регламентируемым показателям не выявил превышений установленных нормативов. Эффективность применения трёхкомпонентной системы биотестов для оценки санитарно-химической безопасности питьевой воды и воды источников питьевого водоснабжения при совместном использовании биотестов повышалась до 80% относительно отдельных тест-объектов без интеграции последних в систему биотестов, взаимно дополняющих друг друга по чувствительности к различным группам токсикантов. Более того, трёхкомпонентная система биотестирования позволила выявить 8 токсичных проб воды (12% от числа анализируемых проб), в которых не зафиксированы превышения нормативных показателей.

Литература

1. Есимбекова Е.Н., Торгашина И.Г., Калябина В.П., Кратасюк В.А. Ферментативное биотестирование: научные основы и применение. *Сибирский экологический журнал*. 2021; 28(3): 364–82. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210308> <https://elibrary.ru/gstxtc>
2. Галютдинова Г.Г., Сагдеева З.Х., Шлямина О.В. Оценка общей токсичности кормов биотестированием на простейших и на лабораторных животных. *Ветеринарный врач*. 2023; (2): 10–6. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_2_10 <https://elibrary.ru/jkxjnz>
3. Макарова М.Н., Макаров В.Г. Альтернативные методы оценки токсичности в рамках этической экспертизы. Обзор. *Лабораторные животные для научных исследований*. 2022; (1): 52–73. <https://doi.org/10.29296/2618723X-2022-01-07> <https://elibrary.ru/stvaeb>
4. Terekhova V.A., Wadhia K., Fedoseeva E.V., Uchanov P.V. Bioassay standardization issues in freshwater ecosystem assessment: Test cultures and test conditions. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2018; 2018(419): 32. <https://doi.org/10.1051/kmae/2018015> <https://elibrary.ru/okldpp>
5. Иванов Д.Е., Сулейманов Р.А., Косарев А.В., Микеров А.Н., Кошелева И.С., Валеев Т.К. Возможности применения методов биотестирования в интегральной оценке качества поверхностных источников водоснабжения населения. *Медицина труда и экология человека*. 2022; (1): 159–76. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2022-10111> <https://elibrary.ru/fkevqr>
6. Goncharuk V.V., Pleteneva T.V., Rudenko A.V., Syroeshkin A.V., Kovalenko V.F., Uspenskaya E.V., et al. Basic principles of comprehensive biotesting of drinking water and point system classification of water quality. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2018; 40(1): 35–9. <https://doi.org/10.3103/S1063455X1801006X>
7. Кряжевских А.А., Бардина В.И., Склярова Н.А. Методы биотестирования для обнаружения лекарственных средств в водной среде. *Формулы фармации*. 2022; 4(1): 61–9. <https://doi.org/10.17816/phf108995> <https://elibrary.ru/ozamqc>
8. Эрдниев Л.П., Гусев Ю.С., Плешакова Е.В., Кошелева И.С., Кузянов Д.А., Микеров А.Н. Биотестирование декабромдифенилоксида с применением многокомпонентной тест-системы. *Поволжский экологический журнал*. 2024; (2): 222–34. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-2-222-234> <https://elibrary.ru/obcrmq>
9. Иванютин Н.М., Подовалова С.В. Экологический мониторинг поверхностных вод с использованием современных методов. *Мелиорация и гидротехника*. 2018; (4): 232–49. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2018-4-232-249> <https://elibrary.ru/yozhvb>

10. Донерьян Л.Г., Водянова М.А. Обоснование места альтернативных биологических методов в гигиенических исследованиях. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(11): 1093–7. <https://elibrary.ru/ypxhvx>
11. Олькова А.С., Ашихмина Т.Я. Факторы получения репрезентативных результатов биотестирования водных сред (обзор). *Теоретическая и прикладная экология*. 2021; (2): 22–30. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-022-030> <https://elibrary.ru/anoojp>
12. Xu J., Wei D., Wang F., Bai C., Du Y. Bioassay: A useful tool for evaluating reclaimed water safety. *J. Environ. Sci. (China)*. 2020; 88: 165–76. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.08.014>
13. Олькова А.С. Актуальные направления развития методологии биотестирования водных сред. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2018; (2): 40–50. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.20.2.40-50> <https://elibrary.ru/xuamap>

References

1. Esimbekova E.N., Torgashina I.G., Kalyabina V.P., Kratasyuk V.A. Enzymatic biotesting: scientific basis and application. *Contemporary Problems of Ecology*. 2021; 14(3): 290–304. <https://doi.org/10.1134/S1995425521030069> <https://elibrary.ru/pukwuo>
2. Galyautdinova G.G., Sagdeeva Z.Kh., Shlyamina O.V. Evaluation of total toxicity of feed by biotesting on simply and laboratory animals. *Veterinarnyi vrach*. 2023; (2): 10–6. https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_2_10 <https://elibrary.ru/jkxjnz> (in Russian)
3. Makarova M.N., Makarov V.G. Alternative methods for studying toxicity. Bioethical principles. *Laboratornye zhivotnye dlya nauchnykh issledovaniy*. 2022; (1): 52–73. <https://doi.org/10.29296/2618723X-2022-01-07> <https://elibrary.ru/stvaeb> (in Russian)
4. Terekhova V.A., Wadhia K., Fedoseeva E.V., Uchanov P.V. Bioassay standardization issues in freshwater ecosystem assessment: Test cultures and test conditions. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*. 2018; 2018(419): 32. <https://doi.org/10.1051/kmae/2018015> <https://elibrary.ru/okldpp>
5. Ivanov D.E., Suleimanov R.A., Kosarev A.V., Mikerov A.N., Kosheleva I.S., Valeev T.K. Potential applications of biotesting methods in the integral assessment of surface water quality for public water supply. *Meditisina truda i ekologiya cheloveka*. 2022; (1): 159–76. <https://doi.org/10.24411/2411-3794-2022-10111> <https://elibrary.ru/fkevqr> (in Russian)
6. Goncharuk V.V., Pleteneva T.V., Syroeshkin A.V., Kovalenko V.F., Uspenskaya E.V., et al. Basic principles of comprehensive biotesting of drinking water and point system classification of water quality. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2018; 40(1): 35–9. <https://doi.org/10.3103/S1063455X1801006X>
7. Kryazhevskikh A.A., Bardina V.I., Sklyarova N.A. Biotesting methods for the detection of drugs in the aquatic environment. *Formuly farmatsii*. 2022; 4(1): 61–9. <https://doi.org/10.17816/phf108995> <https://elibrary.ru/ozamqc> (in Russian)
8. Erdniev L.P., Gusev Yu.S., Pleshakova Ye.V., Kosheleva I.S., Kuzyanov D.A., Mikerov A.N. Biotesting of decabromodiphenyl oxide using a multicomponent test system. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*. 2024; (2): 222–34. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2024-2-222-234> <https://elibrary.ru/obcrmq> (in Russian)
9. Ivanyutin N.M., Podolova S.V. Environmental monitoring of surface water using advanced methods. *Melioratsiya i gidrotekhnika*. 2018; (4): 232–49. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2018-4-232-249> <https://elibrary.ru/yozhvb> (in Russian)
10. Doneryan L.G., Vodyanova M.A. Justification of the place of alternative biological methods in hygienic research. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(11): 1093–7. <https://elibrary.ru/ypxhvx> (in Russian)
11. Olkova A.S., Ashikhmina T.Ya. Factors of obtaining representative results of bioassay of aquatic environments (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2021; (2): 22–30. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-022-030> <https://elibrary.ru/anoojp> (in Russian)
12. Xu J., Wei D., Wang F., Bai C., Du Y. Bioassay: A useful tool for evaluating reclaimed water safety. *J. Environ. Sci. (China)*. 2020; 88: 165–76. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.08.014>
13. Olkova A.S. Current trends in the development of biotesting methodology for aquatic environments. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2018; (2): 40–50. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.20.2.40-50> <https://elibrary.ru/xuamap> (in Russian)

Сведения об авторах

Эрдниева Леонид Петрович, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» Роспотребнадзора, 410022, Саратов, Россия. E-mail: leonid-erdniev@yandex.ru

Микеров Анатолий Николаевич, доктор биол. наук, руководитель Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» Роспотребнадзора, 410022, Саратов, Россия. E-mail: mail@smncg.ru

Кузьянов Дмитрий Андреевич, мл. науч. сотр. лаб. химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» Роспотребнадзора, 410022, Саратов, Россия. E-mail: dimakuzyanov2000@gmail.com

Моисеева Елизавета Михайловна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» Роспотребнадзора, 410022, Саратов, Россия. E-mail: moiseeva-el@mail.ru

Гусев Юрий Сергеевич, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. химико-биологического мониторинга качества воды Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» Роспотребнадзора, 410022, Саратов, Россия. E-mail: uran1989@yandex.ru

Information about the authors

Leonid P. Erdniev, PhD (Medicine), senior researcher, Laboratory of chemical and biological monitoring of water quality, Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5187-7361> E-mail: leonid-erdniev@yandex.ru

Dmitry A. Kuzyanov, junior researcher, Laboratory of chemical and biological monitoring of water quality, Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-5070-4431> E-mail: dimakuzyanov2000@gmail.com

Anatoly N. Mikerov, DSc (Biology), head, Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0670-7918> E-mail: mail@smncg.ru

Yelizaveta M. Moiseeva, PhD (Biology), senior researcher, Laboratory of chemical and biological monitoring of water quality, Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9234-4000> E-mail: moiseeva-el@mail.ru

Yury S. Gusev, PhD (Biology), senior researcher, Laboratory of chemical and biological monitoring of water quality, Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, 410022, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7379-484X> E-mail: uran1989@yandex.ru