

Интегральная оценка безопасности питьевой воды биотестированием

Сергей Л. Калачев	¹	kalatchev.sl@rea.ru	 0009-0003-5926-4350
Ирина Б. Леонова	¹	leonova.ib@rea.ru	 0000-0002-9653-0956
Назиря А. Ибрагимова	¹	ibragimova.na@rea.ru	 0000-0001-6349-3365
Ольга В. Фукина	¹	fukina.ov@rea.ru	 0009-0004-7701-4723

¹ Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный переулок, д.36, Москва, 115054, Россия

Аннотация. Безопасная питьевая вода является одним из ключевых факторов обеспечения высокого уровня качества жизни человека. Современные климатические и экологические проблемы усиливают сложность адекватного решения задачи – обеспечения населения качественной питьевой водой. Самым распространенным способом удовлетворения потребности населения в питьевой воде является центральное водоснабжение. Но даже в странах с высоким уровнем экономического развития потребители зачастую не удовлетворены качеством водопроводной воды, что приводит к росту спроса на бутилированную воду и водоочистные устройства, применяемые в домашних условиях. По данным Роспотребнадзора, в России в 2023 г. около 15% источников воды централизованного водоснабжения не соответствовали санитарно-эпидемиологическим показателям. Процент проб воды из водопроводов (вода перед поступлением в распределительную сеть), не соответствующих санитарно-химическим требованиям, составлял 17,15%. Увеличение списка загрязнителей питьевой воды заставляет исследователей расширять перечень методов для исследования безопасности воды. В статье рассматривается вопрос отличия качества воды бутилированной и воды, доочищенной бытовыми водоочистными устройствами, от аналогичной водопроводной воды без доочистки. В статье приводятся результаты исследования образцов воды с применением метода биотестирования с использованием тест-объектов дафний (*Daphnia magna* Straus). Анализируется комплексный показатель токсичности проб воды, полученных ее доочисткой семью видами картриджей (фильтров) на разных этапах выработки ресурса картриджей. Результаты показали, что токсичность воды зависит от используемого картриджа и стадии выработки его ресурса. Практическая значимость работы заключается в демонстрации влияния БВУ на безопасность воды и разработке рекомендаций по их использованию для обеспечения высокого качества питьевой воды. Результаты могут быть использованы для оптимизации методов оценки воды и разработки новых стандартов для бытовых фильтров.

Ключевые слова: питьевая вода, биотестирование, бытовые водоочистные устройства, дафнии (*Daphnia magna* Straus), картриджи (фильтры), комплексный (интегральный) показатель токсичности.

Integrated assessment of drinking water safety by biotesting

Sergey L. Kalachev	¹	kalatchev.sl@rea.ru	 0009-0003-5926-4350
Irina B. Leonova	¹	leonova.ib@rea.ru	 0000-0002-9653-0956
Nazirya A. Ibragimova	¹	ibragimova.na@rea.ru	 0000-0001-6349-3365
Olga V. Fukina	¹	fukina.ov@rea.ru	 0009-0004-7701-4723

¹ Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia

Abstract. Safe drinking water is one of the determining factors of human life quality. Modern climate and environmental problems increase the complexity of adequately solving the problem of providing the population with high-quality drinking water. The most common way to meet the need for safe water is central water supply. But even in countries with a high level of economic development, consumers are often dissatisfied with the quality of tap water, which leads to an increase in demand for bottled water and water purification devices used at home. According to Rosпотребнадзор, in Russia in 2023, about 15% of centralized water sources did not meet sanitary and epidemiological indicators. The percentage of water samples from water supply systems (water before entering the distribution network) that did not meet sanitary and chemical requirements was 17.15%. The expanding list of drinking water contaminants is forcing researchers to expand the range of methods for studying water safety. The article examines the question – is there really difference between the quality of bottled water, water purified by household water devices and tap water. The application of the biotesting method using *Daphnia* as test objects is considered as an assessment method. The complex toxicity index of water samples obtained by its additional purification with seven types of cartridges (filters) at different stages of cartridge resource is analyzed. The results showed that the toxicity of water depends on the cartridge used and the stage of its resource development. The practical significance of the work lies in demonstrating the impact of STBs on water safety and developing recommendations on their use to ensure high-quality drinking water. The results can be used to optimize water assessment methods and develop new standards for household filters.

Keywords: drinking water, biotesting, household water purification devices, *Daphnia magna* Straus, cartridges (filters), complex (integral) toxicity index.

Для цитирования

Калачев С.Л., Леонова И.Б., Ибрагимова Н.А., Фукина О.В. Интегральная оценка безопасности питьевой воды биотестированием // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 93–107. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-93-107

For citation

Kalachev S.L., Leonova I.B., Ibragimova N.A., Fukina O.V. Integrated assessment of drinking water safety by biotesting. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 93–107. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-93-107

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Вода необходимое условие для поддержания жизни. Доступ к безопасной питьевой воде ведет к сохранению и улучшению здоровья, и, как следствие, повышению уровня качества жизни. Результатом антропогенного воздействия на окружающую среду является, в том числе, и ухудшение качества источников воды.

При решении вопроса обеспечения населения безопасной питьевой водой возникает ряд проблем, к ключевым можно отнести возникновение новых контаминантов, фальсифицирование известных брендов воды, применение при производстве бутилированной питьевой воды консервантов. Дополнительные сложности вносит и некорректное использование бытовых водочистных устройств потребителями. Разрешить возникающие проблемы анализа, используя только стандартные химические, физические и санитарно-микробиологические методы, не представляется возможным. В качестве одного из возможных путей комплексного решения проблемы анализа безопасности питьевой воды стоит рассмотреть возможность использования биотестирования.

В последние годы наблюдается быстрое снижение биоразнообразия пресноводных экосистем Европы. Это объясняется изменением климата, загрязнением и другими антропогенными воздействиями на внутренние воды и водно-болотные угодья [1]. Водные ресурсы сейчас истощены до предела во многих частях мира [2]. Поэтому так важно обеспечить адекватное снабжение безопасной водой. Чаще всего данная задача реализуется при помощи центрального водоснабжения.

Реализация принципа водной безопасности во многих странах сталкивается с многочисленными проблемами, такими как недостаточный доступ к безопасной питьевой воде, неэффективные методы управления водными ресурсами, растущее загрязнение источников воды и повышенный спрос на воду из-за роста населения и урбанизации. Изменение климата усугубляет эти проблемы, усиливая засухи, наводнения и засоление.

Водная безопасность становится опорным моментом в дискуссиях об устойчивом развитии во всем мире, поскольку вода является основополагающим связующим звеном между климатом, человеческим обществом и природной средой. Рост населения, неограниченное водопользование и вызванные изменением климата катастрофы, усугубляют риски в вопросах обеспечения водной безопасности.

Растет уровень химического загрязнения водоисточников, что обусловлено увеличением производства и расширением ассортимента

химических веществ. По данным [3] в мире зарегистрировано более 170 млн химических веществ и свыше 150 тысяч из них поступает в окружающую среду. Риски негативных воздействий многих веществ мало изучены. Прогнозируемый годовой рост рынка химических веществ – 3%. Распространение вирусной пневмонии спровоцировало увеличение массового потребления химических дезинфектантов (сильных окислителей – хлора и озона). Хлор и озон в воде образуют ряд новых химических соединений, обладающих мутагенным и канцерогенным воздействием на человека [3].

Экономически развитые страны используют центральное водоснабжение для решения вопроса снабжения населения безопасной водой. Однако и при использовании централизованного водоснабжения существует ряд проблем, к которым можно отнести утечки воды (которые составляют 45 млн м³ в день), бактерии, которые могут развиваться при застое воды, и неравномерное качество воды в разных регионах [4].

В России в 2019 г. доля источников воды централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим нормам, составляла 14,9%, в 2023 г. – 15,21%. Удельный вес поверхностных источников централизованного питьевого водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям, за период 2014–2023 гг. вырос на 4,76%. Основной причиной несоответствия источников централизованного питьевого водоснабжения санитарно-эпидемиологическим требованиям, как и в предыдущие годы, является отсутствие зон санитарной охраны [5,6].

В целом же, за период с 2014 по 2023 гг. можно отметить, что в Российской Федерации прослеживается тренд на снижение доли источников централизованного водоснабжения, не соответствующих требованиям.

Доля проб воды из источников централизованного водоснабжения, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям в 2023 г. составила 24,6%. В динамике качества питьевой воды из водопроводов (вода перед поступлением в распределительную сеть) наблюдается увеличение доли проб воды, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, с 16,9% в 2014 г. до 17,15% в 2023 г., при снижении по микробиологическим показателям с 2,92% до 2,21%, и по паразитологическим с 0,08% до 0,04% соответственно.

В 2023 году доля населения России, обеспеченного качественной питьевой водой из централизованных систем водоснабжения, составила 88,59% [6].

Заболевания, связанные с загрязнением питьевой воды, представляют собой серьезную нагрузку на здоровье человека. Сброс неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод в водоемы и окружающую среду является одной из основных причин заболеваний, передающихся через воду, таких как, например, диарея [7, 8].

Риски для здоровья, которые формируются при потреблении загрязненных питьевых вод, осознаются исследователями практически всех стран мира [9].

По данным Роспотребнадзора в 2023 смертность населения по причине болезней органов пищеварения и системы кровообращения, новообразований, некоторых инфекционных и паразитарных заболеваний, болезней органов дыхания и др., ассоциированных с качеством питьевой воды, составила 7,2 случая на 100 тыс. человек. Число случаев заболеваний органов пищеварения, мочеполовой системы, сердечно-сосудистых заболеваний, болезней кожи и других нарушений здоровья, напрямую связанных с загрязнением питьевой воды химическими компонентами и микробиологическими агентами, в абсолютном выражении составило в 2023 г. 1,41 млн человек [6-8].

Желание потреблять чистую питьевую воду и снизить риски возможных заболеваний заставило население многих стран приобретать бутилированную питьевую воду и бытовые водоочистные устройства (далее БВУ).

Потребление бутилированной питьевой воды популярно во многих странах, даже в тех, где качество водопроводной воды находится на высоком уровне. Многие потребители считают, что бутилированная вода безопаснее, отчасти это следствие эффективного маркетинга компаний – производителей бутилированной воды, отчасти результат жесткого государственного регулирования производителей воды путем внедрения высоких требований стандартов. Безусловно, к росту спроса на бутилированную воду ведет и удобство использования и приобретения такой воды. Немаловажным моментом, объясняющим покупку бутилированной воды, является минимальная частота вспышек заболеваний, связанных с бутилированной питьевой водой [10].

Несмотря на жесткие требования к качеству и безопасности питьевой воды, проводимые исследования, показывают, что некоторые образцы воды бутилированной не всегда соответствуют требованиям нормативных документов [11].

Например, в странах Северной Америки существуют жесткие стандарты контроля безопасности бутилированной воды. Однако и в бутилированной воде, продаваемой в Канаде и США был выделен разнообразный спектр

групп микроорганизмов [12]. Несмотря на то, что большинство микроорганизмов, которые определяют в бутилированной воде, не являются патогенными и, соответственно, их наличие в бутилированной воде не представляет опасности для здорового человека, периодически происходит выявление и патогенных бактерий, таких как *Pseudomonas*, *Bacillus* и *Escherichia coli*. Хотя случаи регистрации таких микроорганизмов в бутилированной воде редки. Согласно [13] в 2018 году в США были выявлены только три случая заболеваний, возникших в результате потребления бутилированной воды.

В исследовании [14] показана связь между возникновением рота- и норовирусной инфекции, кишечной инфекции неустановленной этиологии и потреблением питьевой бутилированной воды. В исследуемых образцах воды были обнаружены ДНК/РНК сальмонелл, кампилобактерий, энтеро-норо-аденовирусов. Таким образом, были получены данные, подтверждающие, что бутилированная вода может быть фактором передачи возбудителей острой кишечной инфекции.

В 2024 году в Свердловской области 31 человек пострадали от острой кишечной инфекции после употребления бутилированной воды.

Недоверие к качеству воды централизованного водоснабжения и экономическая затратность приобретения воды бутилированной на постоянной основе, а также неэкологичность и опасения потребителей по поводу наличия частиц микропластика в бутилированной воде ведут к росту спроса на бытовые водоочистные устройства. По оценкам *BusinesStat*, за 2019–2023 гг. производство бытовых фильтров для питьевой воды в России выросло на 13,7%, с 84,2 до 95,8 млн шт. [15].

Спрос на БВУ вызван не только не удовлетворяющим потребителя качеством водопроводной воды, но и маркетинговыми и рекламными стратегиями производителей, акцентирующими внимание на наличие вредных примесей и вреде хлора в водопроводной воде. Мода на здоровый образ жизни, возросшие экономические возможности населения, желание обеспечить детей качественной питьевой водой ведут к росту спроса населения на БВУ.

В целом, укрупненно, системы доочистки воды в домашних условиях можно разделить на три группы:

- проточные водоочистные системы, которые устанавливаются под раковину и подключают к системе водопровода;
- фильтры-кувшины – емкости со сменными картриджами (фильтрами);

– фильтры-бутылки – многоразовые бутылки со встроенным фильтром.

Большой популярностью среди потребителей пользуются фильтры-кувшины, что объясняется простотой их использования, дешевизной, возможностью использовать там, где нет централизованного водоснабжения, например, на дачных участках.

Анализ публикаций с результатами исследований качества и безопасности воды, как полученной из систем централизованного водоснабжения, так и бутилированной и доочищенной БВУ, показывает, что, в целом, к рискам опасного воздействия воды относятся:

– увеличение химического антропогенного прессинга на источники водозабора и их деградация;

– появление новых контаминантов, не учтенных в нормативных документах, с неизвестными рисками;

– фальсификация и введение в заблуждение потребителей;

– использование консервантов при производстве бутилированной питьевой воды;

– ухудшение потребительских свойств бутилированной питьевой воды при нарушении условий хранения в торговле (деградации полиэтилентерефталата, появления ацетальдегида и др. веществ, не учтенных нормативными документами);

– некорректное использование бытовых водоочистных устройств (нецелевое применение при отсутствии достоверной информации о составе очищаемой воды и наработке картриджа).

Таким образом, как в питьевой бутилированной, так и доочищенной воде возможно присутствие ранее неучтенных контаминантов, которые не определяются стандартными методами химического, физического и санитарно-микробиологического анализа. Учитывая трудности выявления контаминантов, установления их концентраций и характера их изменений, совместного токсического действия специалисты рекомендуют использовать для экспресс оценки безопасности воды методы биотестирования.

Биотесты комплексно и интегрально позволяют оценить наличие или отсутствие рисков опасности в воде на основе регистрации общебиологических характеристик биологических объектов. В России вопросами биотестирования занимался ряд известных токсикологов: Л.П. Брагинский, Е.А. Веселов, Л.А. Лесников, В.И. Дукьяненко, С.А. Патин, Н.С. Строганов, Б.А. Флеров и др.

Биотестирование – метод биологического анализа, который начали применять в Англии, США и Франции в 20 веке. Метод основан на использовании тест-объектов, реагирующих на все виды загрязнений независимо от их природы и дающих

комплексную интегральную оценку безопасности воды для организмов.

В СССР биотестирование начали разрабатывать в 1930-х годах. Со второй половины 20 века регулярно проводить биотестирование с помощью *Daphnia magna* [21-24].

Биотестирование – один из методов определения степени токсического действия физических, химических и биологических неблагоприятных факторов среды, потенциально опасных для живых организмов, в контролируемых экспериментальных лабораторных или натуральных условиях путем регистрации изменений биологически значимых показателей исследуемых водных объектов с последующей оценкой их состояния в соответствии с выбранными критериями токсичности [15].

Безопасность характеризуется показателями токсичности, которые устанавливаются по биологическому состоянию тест-объектов. Токсичность – свойство воды, обусловленное наличием в ней токсических веществ, характеризующих способность воды нарушать жизнедеятельность тест-организмов [30]. Показатель токсичности – это интегральный показатель, отражающий совокупное действие многих компонентов загрязнения.

Значение показателя токсичность имеет градации и является относительным показателем. Различают острую и хроническую токсичность.

Показатель острой токсичности – показывает непосредственную опасность или безопасность воды для здоровья, а также степень риска при использовании воды.

В качестве тест-объектов при биотестировании могут быть использованы как одноклеточные, так и растения, рыбы, крысы, кровь, отдельные клетки и т. д. К наиболее популярным тест-объектам относятся дафнии, инфузории, водоросли, люминесцирующие бактерии. Предпринимались попытки использовать плоских червей планарий *Dugesia tigrina* для оценки качества питьевой бутилированной воды [15,16, 24, 25].

Популярность такого тест-объекта как инфузории (*Paramecium caudatum*) вызвана тем, что они сочетают в себе признаки отдельной деятельности клетки и целого организма, могут рассматриваться как простые рецепторно-рефлекторные системы, обладающие способностью реагировать на токсическое воздействие целым комплексом биологических, физиологических, и биохимических изменений: скоростью размножения, направлением и скоростью перемещения, реверсией ресничной активности, питанием, поглощением из среды различных веществ и др. Простейшие широко распространены в водной среде и широко культивируются в лабораторных условиях. На этой культуре

отработаны методики содержания в опытных условиях и критерии токсичности. Инфузории широко применяется для определения токсических воздействий пестицидов в острых и хронических опытах. Оценка проводится по морфологическим (форма и размер клеток) и физиологическим (поведение, локомоторная функция, выживаемость, функционирование сократительных вакуолей) показателям.

Ракообразные *Daphnia magna* являются классическим объектом биотестирования. Предложены в 1934 году Науманном. В 70-х годах прошлого века отражены как тест-объект для исследования качества вод во многих национальных и международных стандартах. Являются чувствительными организмами для определения острой токсичности. *Daphnia magna* чувствительна к неорганическим ионам, в частности к ионам серебра, ртути, кадмия, хромата, бихромата, цианида и йодида.

В результате применения исследователями метода биотестирования было разработано множество методических указаний по биотестированию природных и сточных вод, такие как «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний» [17], «Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов» [18] и др.

Исследователи осуществляют оценку токсичности загрязнений на основе различных поведенческих критериев гидробионтов, состояния их организма:

- выживаемость и смертность;
- снижение или стимуляция интенсивности размножения;
- скорость воспроизведения;
- качество потомства;
- продолжительность жизни;
- аномалии развития (заболевания, уродства);
- частота сердцебиения;
- изменение содержания гликогена, потребление кислорода, интенсивность дыхания, ингибирование фотосинтеза;
- содержание коллагена у рыб;
- скорость регенерации частей тела;
- изменение характера поведения, изменение пигментации и др. [20].

Филенко О.Ф. предложил деление на частные и интегральные тест-функции. Интегральные – характеризуют состояние системы наиболее обобщенно, давая суммарный ответ о состоянии системы, к ним относят показатели выживаемости, роста, плодовитости, к частным

отнесены физиологические, биохимические, гистологические показатели.

Из современных методик биотестирования для проведения исследований на наличие риска опасного воздействия на живой организм наиболее удобны методики, позволяющие проводить исследование в течение нескольких часов, суток. Этому критерию соответствуют методики биотестирования с использованием таких тест-объектов, как инфузории и дафнии. Данные методики не требуют применения дополнительных сложных измерительных средств, тест-объекты относительно легко и доступно культивируются [19,26].

Большинство проводимых исследований используют методы биотестирования для оценки состояния сточных и природных вод, водоемов, в том, числе рыбных хозяйств, донных отложений, отработанных буровых растворов, уровня загрязненности территории. Данное исследование направлено на определение эффективности применения метода биотестирования для оценки безопасности воды питьевой бутилированной и воды, полученной из источников центрального водоснабжения, доочищенной бытовыми водоочистными устройствами.

Актуальность данного исследования связана с ростом интереса к поиску новых подходов к оценке качества и безопасности воды, ростом спроса населения воду бутилированную и на бытовые водоочистные устройства и, как следствие, необходимости выявления влияния данных устройств на качество и безопасность питьевой воды. Полученные результаты позволят пополнить базу современных данных о влиянии бытовых водоочистных устройств на качество питьевой воды, значимости их применения в домашних хозяйствах. Практическая значимость исследования – апробация и оценка возможностей применения методики биотестирования питьевой воды, направленной на выявление рисков от неустановленных контаминантов и иных опасных воздействий питьевой воды, прошедшей доочистку в бытовых условиях с помощью БВУ, установление наличия разницы во влиянии воды бутилированной и воды, доочищенной разными фильтрами, с разным уровнем выработки ресурса, на дафний.

Материалы и методы

Целью исследования является:

- оценка влияния воды питьевой бутилированной разного химического состава на дафний;
- выявление отличий в качестве воды питьевой, доочищенной водоочистными устройствами при помощи разных картриджей (фильтров)

с разной выработкой ресурса, путем оценки влияния образцов воды на выживаемость дафний;

- сравнить полученные результаты комплексной оценки токсичности для тест-объектов *Daphnia magna Straus* воды питьевой бутилированной и воды, доочищенной БВУ;

- на основе проведенного исследования рассмотреть возможности применения методов биотестирования с использованием тест-объектов *Daphnia magna Straus* в качестве интегрального (комплексного) метода оценки безопасности и качества питьевой воды.

При проведении исследований, направленных на оценку питьевой воды целесообразно использовать такие тест-объекты как *Daphnia magna Straus*, инфузории *Paramecium caudatum*

и ряд других. В рамках данного исследования были выбраны *Daphnia magna Straus*. Критериями выбора тест-объекта явились:

- доступность и легкость воспроизводства в лабораторных условия;
- отсутствие необходимости использования для измерений дорогостоящих специальных технических средств;
- простота пробоподготовки;
- наличие апробации применения и стандартных методик тестирования;
- возможность комплексной оценки наличия опасных воздействий исследуемых образцов воды.

Сводная характеристика выбранного тест-объекта представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Сводная характеристика *Daphnia magna Straus* как тест-объекта, применяемого в исследовании токсичности воды питьевой доочищенной БВУ

Table 1.

Summary characteristics of *Daphnia magna Straus* as a test object used in the study of the toxicity of drinking water purified by the HWD

Характеристика Characteristic	Описание Description
Первое применение для биотестирования First application for biotesting	Предложена в 1934 г. Науманном. Используются в качестве тест-объектов с 1940-х гг. Proposed in 1934 by Naumann. Used as test objects since the 1940s.
Нормативные документы на применение тест-объекта для исследования питьевой воды на токсичность Regulatory documents on the use of a test object for testing drinking water toxicity	ISO 6341:2012 Water quality – Determination of the inhibition of the mobility of <i>Daphnia magna Straus</i> (Cladocera, Crustacea) – Acute toxicity test. ГОСТ Р 56236–2014 Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных <i>Daphnia magna Straus</i> . Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов [18]. ISO 6341:2012 Water quality – Determination of the inhibition of the mobility of <i>Daphnia magna Straus</i> (Cladocera, Crustacea) – Acute toxicity test. GOST R 56236–2014 Water. Determination of toxicity by survival of freshwater crustaceans <i>Daphnia magna Straus</i> . Guide to determination of toxicity of waters, bottom sediments, pollutants and drilling fluids by biotesting [18].
Сущность метода The essence of the method	Регистрация выживаемости <i>Daphnia magna Straus</i> в анализируемой пробе исследуемого объекта относительно контрольной пробы, определении ее токсичности и токсикологических показателей при тестировании в течение 24–96 ч. Registration of the survival rate of <i>Daphnia magna Straus</i> in the analyzed sample of the studied object relative to the control sample, determination of its toxicity and toxicological parameters during testing for 24–96 hours.
Методы биотестирования позволяют определять токсичность исследуемых объектов и следующие токсикологические показатели: Biotesting methods allow determining the toxicity of studied objects and following toxicological indicators:	– средняя эффективная кратность разбавления (ЭКР50) пробы, вызывающая гибель или иммобилизацию 50% тест-организмов; – безвредная кратность разбавления пробы (ЭКР10), вызывающая отклонение тест-параметров – выживаемости или иммобилизации – за 48 ч (96 ч) не более 10% относительно контрольной пробы; – средняя эффективная концентрация (ЭК50) растворов веществ, вызывающую гибель или иммобилизацию 50% тест-организмов; – безвредную концентрацию (ЭК10) растворов веществ, вызывающую отклонение тест-параметров – выживаемости или иммобилизации – за 48 ч не более 10% относительно контрольной пробы. – average effective dilution factor (AEF50) of the sample causing death or immobilization of 50% of test organisms; – harmless dilution factor (AEF10) of the sample causing deviation of test parameters – survival or immobilization – in 48 hours (96 hours) of no more than 10% relative to the control sample; – average effective concentration (EC50) of substances solution causing death or immobilization of 50% of test organisms; – harmless concentration (EC10) of substances solution causing deviation of test parameters – survival or immobilization – in 48 hours of no more than 10% relative to the control sample.
Критерий токсичности Toxicity criterion	Достоверное отличие от контроля показателя выживаемости и плодовитости дафний. Significant difference from the control in the survival rate and fertility of daphnia.

В настоящее время для анализа токсического эффекта проводят тесты, различающиеся продолжительностью экспонирования (острая и хроническая токсичность).

На первом этапе исследования устанавливали острую токсичность проб воды – продолжительность эксперимента составляла 24 часа, на втором этапе проводили тест на хроническую токсичность – продолжительность эксперимента составляла 48 и 72 часа.

В качестве тест-объекта использовали 6–7-дневных особей дафний. Тест объекты помещали в емкости с исследуемой водой (100 мл). Исследуемые образцы воды получали следующим образом: 50% исходной среды культивирования дафний смешивали с 50% пробами воды питьевой бутилированной. Аналогично готовили и образцы проб воды, доочищенной бытовыми водоочистными устройствами с разной степенью выработки ресурса картриджа устройств.

При проведении эксперимента контролировались следующие параметры – температура воды, освещенность, рН, минерализация. Тестируемая вода при использовании в качестве тест-объекта *Daphnia magna Straus* должна быть нагрета до температуры 20 ± 2 °С., рН 7,0–8,3, минерализация – не выше 6,0 г/дм³.

Критерием оценивания комплексного показателя токсичности служила

выживаемость тест-организмов в условиях переменного воздействия света и постоянной температуры воды. Пробы исследуемой воды при определении токсичности могут вызывать гибель всех тест-объектов. Поэтому было проведено разбавление проб как описано выше.

Параллельно проводился контрольный эксперимент, в ходе которого дафнии были помещены в исходную среду культивирования.

Время гибели рачков отмечали по наступлении неподвижности (иммобилизации). Иммобилизация – неспособность дафний к движению, рачки лежат на дне емкости, плавательные движения отсутствуют и не возобновляются после легкого встряхивания емкости.

После окончания эксперимента проводили визуальный подсчет выживших дафний и расчет процента выживаемости.

Показателем выживаемости служит среднее количество тест-объектов, выживших в тестируемой воде или в контроле за период от 24 до 72 часов. Критерием токсичности является гибель 50 и более% дафний за период времени от 24 до 72 часов в тестируемой воде по сравнению с контролем.

Эксперимент ставился в пяти повторностях. Характеристика исследуемых образцов воды питьевой бутилированной представлена в таблице 2.

Характеристика образцов воды питьевой бутилированной

Таблица 2.

Table 2.

Characteristics of bottled drinking water samples

Минеральный состав Mineral composition	Материал тары и средства укупорки Container and closure material
гидрокарбонат, кальций, магний, фториды; общая минерализация 0,3–0,7 г/дм ³ hydrocarbonate, calcium, magnesium, fluorides; total mineralization 0.3–0.7 g/dm ³	ПЭТ и ПЭВП* PET and HDPE
натрий, кальций, магний, сульфаты, фториды, гидрокарбонаты; общая минерализация не более 0,7 г/ дм ³ sodium, calcium, magnesium, sulfates, fluorides, hydrocarbonates; total mineralization no more than 0.7 g/dm ³	ПЭТ и ПЭВП PET and HDPE
кальций, магний, натрий, калий, сульфаты, хлориды, гидрокарбонаты, нитраты, диоксид кремния; общая минерализация 0,3–0,75 г/дм ³ calcium, magnesium, sodium, potassium, sulfates, chlorides, hydrocarbonates, nitrates, silicon dioxide; total mineralization 0.3–0.75 g/dm ³	ПЭТ и ПЭВП PET and HDPE
кальций, магний, натрий, гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды, фториды; общая минерализация 0,999 г/дм ³ calcium, magnesium, sodium, hydrocarbonates, sulfates, chlorides, fluorides; total mineralization 0.999 g/dm ³	ПЭТ и ПЭВП PET and HDPE
кальций, натрий, калий, гидрокарбонаты; общая минерализация 0,1–0,3 г/дм ³ calcium, sodium, potassium, hydrocarbonates; total mineralization 0.1–0.3 g/dm ³	ПЭТ и ПЭВП PET and HDPE
Примечание: ПЭТ и ПЭВП – полиэтилентерефталат и полиэтилен высокой плотности Note: PET – polyethylene terephthalate; HDPE – high density polyethylene	

Количество исследуемых проб воды, доочищенной БВУ, определялось количеством картриджей (фильтров), используемых для доочистки воды и ресурсом работы фильтров. Нами были использованы фильтры после выработки 20 и 50% ресурса.

Все используемые картриджи (фильтры) были закодированы (А, В, С, D, E, F), характеристики фильтров (картриджей) представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Характеристика исследуемых картриджей (фильтров) бытовых водоочистных устройств

Table 3.

Characteristics of the studied cartridges (filters) of household water purification devices

Обозначение Designation	Назначение (по данным изготовителей) Purpose (according to manufacturers)	Ресурс, л Resource, l	Сорбционный материал Sorbent material	Срок службы, заявленный изготовителем, мес. Service life declared by the manufacturer, months
A	Уменьшает избыточную жесткость воды и образование накипи, устраняет неприятный вкус и запах, задерживает вредные примеси Reduces excess water hardness and scale formation, eliminates unpleasant taste and odor, traps harmful impurities	170	Кокосовый гранулированный активированный уголь, ионообменные смолы, сорбционные материалы, обработанные серебром Ag+ Coconut granulated activated carbon, ion exchange resins, sorption materials treated with silver Ag+	Срок не указан изготовителем The period is not specified by the manufacturer
B	Снижает избыточную жесткость. Доочистка воды от хлора, органических примесей, металлов, пестицидов, нефтепродуктов Reduces excess hardness. Additional purification of water from chlorine, organic impurities, metals, pesticides, petroleum products	300	Активированный уголь, серебро Ag + в несмываемой металлической форме, ионообменные смолы Activated carbon, silver Ag+ in permanent metallic form, ion exchange resins	1–1,5
C	Удаляет посторонние примеси, уменьшает содержание ионов кальция и хлора, уменьшает образование накипи, улучшает вкус Removes foreign impurities, reduces calcium and chlorine ions, reduces scale formation, improves taste	150	Кокосовый гранулированный активированный уголь, сорбционные волокнистые материалы Coconut granulated activated carbon, sorption fibrous materials	1–3
D	Удаляет посторонние примеси, уменьшает содержание ионов кальция и хлора, уменьшает образование накипи, улучшает вкус Removes foreign impurities, reduces calcium and chlorine ions, reduces scale formation, improves taste	150	Кокосовый гранулированный активированный уголь, сорбционные волокнистые материалы Coconut granulated activated carbon, sorption fibrous materials	1–3
E	Удаляет вредные примеси, хлор, ртуть, фенолы, пестициды, нефтепродукты, алюминий, тяжелые металлы, снижает образование накипи, защищает от ржавчины, умягчает воду, удаляет неприятный вкус и запах Removes harmful impurities, chlorine, mercury, phenols, pesticides, petroleum products, aluminum, heavy metals, reduces scale formation, protects against rust, softens water, removes unpleasant taste and odor	300	Кокосовый гранулированный активированный уголь, сорбционные волокнистые материалы с серебром Ag+ Coconut granulated activated carbon, sorption fibrous materials with silver Ag+	3
F	Удаление примесей механического происхождения, а также хлора, хлороорганических соединений, пестицидов, нефтепродуктов, фармацевтических препаратов, железа в растворенном виде, тяжелых металлов, посторонних запахов и привкусов, предотвращает рост бактерий Removes mechanical impurities, chlorine, chlororganic compounds, pesticides, petroleum products, pharmaceuticals, dissolved iron, heavy metals, foreign odors and tastes, prevents bacterial growth	200	Кокосовый гранулированный активированный уголь, обработанный серебром Ag+, ионообменное волокно Coconut granulated activated carbon treated with silver Ag+, ion exchange fiber	1–3

Результаты

Для подтверждения или опровержения влияния БВУ на качество питьевой воды путем оценки воздействия полученных образцов воды на выживаемость дафний все эксперименты были поставлены в пятикратной повторности. Была проведена оценка острой и хронической

токсичности (отличается продолжительностью воздействия). По истечении необходимого промежутка времени производился подсчет выживших и вновь народившихся дафний.

Результаты эксперимента по выявлению влияния воды питьевой бутилированной на тест-объекты *Daphnia magna Straus* представлены в таблице 4.

Таблица 4.
Результаты исследования влияния питьевой воды бутилированной на тест-объект *Daphnia magna Straus*, острый и хронический опыты

Table 4.
Study of the bottled drinking water effect on the test object *Daphnia magna Straus*, acute and chronic experiments

Продолжительность экспонирования, ч Exposure duration, h	Номер образца Sample number	Среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов, шт. Average number of surviving test organisms, pcs	Процент гибели тест-организмов, % Percentage of test organisms death, %
24	1	5,0	0
	2	5,0	0
	3	5,0	0
	4	5,0	0
	5	0,0	100
	Контроль Control	4,8	4
48	1	5,0	0
	2	4,8	4
	3	4,6	8
	4	4,8	4
	5	0,0	100
	Контроль Control	4,6	8
72	1	4,6	8
	2	4,8	4
	3	4,2	16
	4	4,0	20
	5	0,0	100
	Контроль Control	3,6	28

Полученные результаты говорят о том, что, в целом, исследуемая вода питьевая бутилированная не оказывала негативного влияния на выживаемость тест-объектов в сравнении с контролем. Это показали как эксперименты на острую, так и хроническую токсичность.

Однако смертность тест-объекта *Daphnia magna Straus* в присутствии образца № 5 составила 100%.

На основе экспериментальных данных (таблица 4) в соответствии с методикой (ГОСТ 56236–2014) был рассчитан показатель острой и хронической токсичности (таблица 5).

Таблица 5.
Оценка токсичности проб питьевой воды бутилированной на тест-объекты *Daphnia magna Straus*

Toxicity assessment of bottled drinking water samples on test objects *Daphnia magna Straus*

Образец Sample	Токсичность анализируемых проб Toxicity of analyzed samples					
	Острая токсичность Acute toxicity		Хроническая токсичность Chronic toxicity			
	t = 24 ч. t = 24 hours	А о.т.*, % A a.t., %	t = 48 ч. t = 48 hours	А хр. т.***, % A chr.t., %	t = 72 ч. t = 72 hours	А хр. т., % A chr.t., %
1	Не токсично Non toxic	-4,2	Не токсично Non toxic	-8,7	Не токсично Non toxic	-27,8
2	Не токсично Non toxic	-4,2	Не токсично Non toxic	-4,3	Не токсично Non toxic	-33,3
3	Не токсично Non toxic	-4,2	Не токсично Non toxic	0,0	Не токсично Non toxic	-16,7
4	Не токсично Non toxic	-4,2	Не токсично Non toxic	-4,3	Не токсично Non toxic	-11,1
5	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0
Контроль Control	Не токсично Non toxic		Не токсично Non toxic		Не токсично Non toxic	

Примечание: • А о.т. – Острая токсичность анализируемых проб; **А хр. т. – Хроническая токсичность анализируемых проб
Note: • А о.т. – Acute toxicity of analyzed samples; **А хр. т. – Chronic toxicity of analyzed samples

Значения показателя токсичности четырех из пяти образцов имеют отрицательные значения показателя токсичности в течение всей продолжительности эксперимента (таблица 5), что говорит, что о том, что исследуемые образцы воды питьевой бутилированной благоприятным образом влияли на выживаемость дафний, в сравнении с контрольным образцом. Образец воды под номером пять проявил токсичность на уровне 100%.

Полученные в ходе эксперимента данные о влиянии воды питьевой, доочищенной БВУ, позволяют говорить о различии в реакциях тест-объектов дафний на образцы воды, полученной путем доочистки питьевой воды разными картриджами (фильтрами) (таблица 6).

На основе экспериментальных данных (таблица 6) в соответствии с методикой (ГОСТ 56236–2014) был рассчитан показатель острой и хронической токсичности (таблица 7).

Результаты исследования влияния питьевой воды, доочищенной БВУ (после отработки 20% ресурса), на тест-объект *Daphnia magna Straus*, острый и хронический опыты

Table 6.

Results of the study of the influence of drinking water, additionally purified by HWD (after 20% of the resource has been exhausted), on the test object *Daphnia magna Straus*, acute and chronic experiments

Продолжительность экспонирования, ч Exposure duration, h	Номер образца Sample number	Среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов, шт. Average number of surviving test organisms, pcs	Процент гибели тест-организмов, % Percentage of test organisms death, %
24	A	0	100
	B	0	100
	C	0,8	84
	D	0	100
	E	0	100
	F	5,0	0
	Контроль Control	4,8	4
48	A	0	100
	B	0	100
	C	0,8	84
	D	0	100
	E	0	100
	F	5,0	0
	Контроль Control	4,6	8
72	A	0	100
	B	0	100
	C	0,8	84
	D	0	100
	E	0	100
	F	5,0	0
	Контроль Control	3,6	28

Оценка токсичности проб питьевой воды, доочищенной БВУ (после отработки 20% ресурса), на тест-объекты *Daphnia magna Straus*

Table 7.

Assessment of the toxicity of samples of drinking water, additionally purified by the second-generation water treatment plant (after 20% of the resource has been used up), for *Daphnia magna Straus* test

Образец Sample	Токсичность анализируемых проб Toxicity of analyzed samples					
	Острая токсичность Acute toxicity		Хроническая токсичность Chronic toxicity			
	t = 24 ч. t = 24 hours	A о.т. *, % A a.t., %	t = 48 ч. t = 48 hours	A xp. т. **, % A chr.t., %	t = 72 ч. t = 72 hours	A xp. т., % A chr.t., %
A	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0
B	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0
C	Токсично Toxic	83,3	Токсично Toxic	82,6	Токсично Toxic	77,8
D	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0
E	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0
F	Не токсично Non toxic	-4,2	Не токсично Non toxic	-8,7	Не токсично Non toxic	-38,9
Контроль Control	Не токсично Non toxic		Не токсично Non toxic		Не токсично Non toxic	

Примечание: • А о.т. – Острая токсичность анализируемых проб; **А xp. т. – Хроническая токсичность анализируемых проб
Note: • А о.т. – Acute toxicity of analyzed samples; **А xp. т. – Chronic toxicity of analyzed samples

Большое значение при использовании БВУ для доочистки питьевой воды играет выработка ресурса картриджа (фильтра). Производители фильтров гарантируют, что при использовании картриджей в соответствии с инструкцией, на всем протяжении выработки ресурса картриджа на выходе будет получена вода стабильного

качества. Представлялось целесообразным сопоставить показатели выживаемости дафний в воде питьевой, доочищенной картриджем с выработкой 20% и картриджем с выработкой 50% ресурса.

В таблице 8 показаны данные исследования питьевой воды, доочищенной БВУ после отработки 50% ресурса.

Результаты исследования влияния питьевой воды, доочищенной БВУ (после отработки 50% ресурса), на тест-объект *Daphnia magna* Straus, острый и хронический опыты

Таблица 8.

Study of the influence of drinking water, additionally purified by HWD (after 50% of the resource has been exhausted), on the test object *Daphnia magna* Straus, acute and chronic experiments

Продолжительность экспонирования, ч Exposure duration, h	Номер образца Sample number	Среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов, шт. Average number of surviving test organisms, pcs	Процент гибели тест-организмов, % Percentage of test organisms death, %
24	A	0	100
	B	4,8	4
	C	4,8	4
	D	0	100
	E	0	100
	F	4,8	4
	Контроль Control	5,0	0
48	A	0	100
	B	4,6	8
	C	4,0	20
	D	0	100
	E	0	100
	F	4,6	8
	Контроль Control	4,6	8
72	A	0	100
	B	4,6	8
	C	3,0	40
	D	0	100
	E	0	100
	F	3,8	24
	Контроль Control	3,8	24

Данные, полученные в результате анализа влияния воды, доочищенной БВУ с 50%-ной выработкой ресурса, на тест-объекты дафнии уже существенно варьируются. Но вода, полученная после фильтрации через картриджи А, D, E также, как и в эксперименте с фильтрами с 20%-ной выработкой ресурса показала сильное отрицательное влияние на выживаемость дафний, уже в течение первых 24 часов все дафнии погибли. При этом фильтры В и С после израсходования половины ресурса, на выходе стали давать такую степень очистки воды, которая положительным образом сказалась на выживаемости дафний. В остром опыте выживаемость дафний в водной среде, полученной путем доочистки воды фильтрами В, С и F составила 96%, что лишь на 4% уступает значению показателя контрольного опыта, где выживаемость составила 100%.

Однако в эксперименте на хроническую токсичность продолжительностью 48 часов количество выживших дафний начало сокращаться. Для фильтров В и F оно составило 92%, а для фильтра С только 80%, для контрольного опыта – 92%. В эксперименте продолжительностью 72 часа значение показателя выживаемости для фильтра В осталось на прежнем уровне (92%), для фильтра F сократилось до 76%, самое же низкое значение среди трех рассматриваемых фильтров показал фильтр С – 60%. При этом, необходимо отметить, что выживаемость в контрольном опыте составила 76%, т. е. выживаемость дафний в воде, доочищенной фильтром В, была выше, чем в контрольной пробе.

На основе экспериментальных данных (таблица 8) был рассчитан показатель острой и хронической токсичности (таблица 9). Расчет произведен в соответствии с методикой (ГОСТ 56236–2014).

Оценка токсичности проб питьевой воды, доочищенной БВУ (после отработки 50% ресурса), на тест-объект *Daphnia magna* Straus

Таблица 9.

Evaluation of toxicity of drinking water samples, additionally purified by BVU (after 50% of the resource has been exhausted), on the test object *Daphnia magna* Straus

Table 9.

Образец Sample	Токсичность анализируемых проб Toxicity of analyzed samples					
	Острая токсичность Acute toxicity		Хроническая токсичность Chronic toxicity			
	t = 24 ч. t = 24 hours	A о.т.*, % A a.t., %	t = 48 ч. t = 48 hours	A хр. т.** , % A chr.t., %	t = 72 ч. t = 72 hours	A хр. т., % A chr.t., %
1	2	3	4	5	6	7
A	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0
B	Не токсично Non toxic	4,0	Не токсично Non toxic	0	Не токсично Non toxic	-21,1

Продолжение таблицы 9 | Continuation of table 9

1	2	3	4	5	6	7
С	Не токсично Non toxic	4,0	Не токсично Non toxic	13,04	Слабо токсично Slightly toxic	21,1
D	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0
E	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0	Токсично Toxic	100,0
F	Не токсично Non toxic	4,0	Не токсично Non toxic	0	Не токсично Non toxic	0
Контроль Control	Не токсично Non toxic		Не токсично Non toxic		Не токсично Non toxic	

Примечание: *А о.т. – Острая токсичность анализируемых проб; **А хр. т. – Хроническая токсичность анализируемых проб
Note: • А о.т. – Acute toxicity of analyzed samples; **А хр. т. – Chronic toxicity of analyzed samples

В образцах воды, доочищенной фильтрами А, D, E (с выработкой ресурса на 50%), тест-объекты дафнии не выжили. Питьевая вода, полученная после доочистки данными фильтрами, проявила острые токсические свойства.

Образцы воды, доочищенные фильтрами В, F, не проявили ни острой токсичности (4,0%), ни хронической токсичности.

Образцы питьевой воды, доочищенные картриджем С, показали слабую токсичность при экспонировании 72 ч. (21,1%), но не проявили ни острой токсичности при экспонировании 24 ч., ни хронической токсичности при экспонировании 48 ч. (13,04%).

Обсуждение

Анализируя полученные результаты, была выявлена следующая тенденция – вода питьевая, доочищенная фильтрами с выработкой 20% ресурса оказала сильное угнетающее действие на жизнедеятельность дафний. По данным таблицы 6, большинство дафний, помещенных в исследуемые образцы воды (при 50% разбавлении), погибли уже в первые 24 часа исследования. Никакого угнетающего эффекта не оказала только вода, доочищенная фильтром F.

В образцах воды питьевой, доочищенной фильтрами А, В, D, E, выживаемость тест-объектов равнялась нулю, т. е. тест-объекты дафнии не выжили. Таким образом, можно говорить о том, что питьевая вода, полученная после доочистки данными фильтрами, проявила острые токсические свойства. В образце воды, доочищенном фильтром С, выживаемость составляла 16%, что согласно вышеописанному критерию, также говорит о токсичности анализируемой пробы воды. При этом образец воды, доочищенный фильтром F, создал наиболее комфортные условия для жизни дафний, что выразилось в значении показателя выживаемости, превысившего контрольное значение. При определении острой токсичности при экспонировании 24 ч. – на 4,2%, хронической токсичности при экспонировании 48 ч. – на 8,7%, хронической токсичности при экспонировании 72 ч. – на 38,9%.

Таким образом, можно сказать, что рассматриваемые картриджи по-разному влияют на питьевую воду, несмотря на схожесть сорбционных материалов картриджей.

Результаты анализа образцов питьевой воды, доочищенной БВУ с 50%-ной выработкой ресурса, имели уже менее выраженную негативную тенденцию. Часть фильтров, так же как в эксперименте с 20%-ной выработкой ресурса картриджа, проявили острую токсичность и привели к гибели всех тест-объектов в течение первых 24 часов эксперимента. При этом обработка питьевой воды двумя фильтрами В и С практически никак не отразилась на выживаемости дафний в сравнении с контролем при определении острой токсичности, в то время как при выработке этими фильтрами 20% ресурса они оказывали токсичное действие на дафний. В процессе проведения эксперимента на хроническую токсичность (продолжительность более 24 часов) вода, доочищенная этими фильтрами (В и С), не проявила токсичности или была мало токсична, однако, в сравнении с экспериментом на острую токсичность количество выживших дафний стало сокращаться.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов говорят о том, что между БВУ существует значительная разница, несмотря на использование похожих сорбционных материалов. После доочистки получается вода питьевая, обладающая разными свойствами, с разными значениями показателя токсичности. Часть фильтров проявила токсичные свойства, а часть благотворно влияла на тест-объекты.

Выявлена существенная разница в воде питьевой, доочищенной БВУ с разной степенью выработки ресурса. Значение показателя токсичности говорит о том, что вода, полученная доочисткой картриджами, выработавшими 50% ресурса, обладает меньшими значениями показателя токсичности, в том числе, хронической токсичности.

Возможно, это связано с тем, что на этапе израсходования картриджем всего 20% ресурса, при фильтровании из картриджа в воду выделяются какие-то вещества, негативным образом влияющие на выживаемость дафний, в то время

как при израсходовании 50% ресурса фильтра миграция этих веществ замедляется или останавливается. Но для установления верности данной гипотезы необходимо обширное исследование химического состава образцов воды, после доочистки всеми рассмотренными картриджами. Без проведения полномасштабного химического исследования крайне затруднительно объяснить – почему вода после фильтрации одним и тем же картриджем при выработке 20% ресурса обладала токсичным воздействием на выживаемость дафний, а при 50% выработки ресурса не оказала никакого токсичного воздействия на дафний. Данную закономерность показали два фильтра в пятикратной повторности эксперимента. При этом еще у одного из фильтров была отмечена противоположная тенденция – при анализе воды, доочищенной картриджем с 20% выработкой ресурса, вода положительным образом влияла на выживаемость и рождаемость дафний по сравнению с контролем, но при увеличении выработки данного картриджа вода после доочистки картриджем, оказывала на дафний такое же влияние как среда культивирования.

Данный факт требует дальнейшего исследования, так как производители БВУ утверждают, что на протяжении всего ресурса картриджа происходит доочистка воды равным образом.

Выявленные отличия в питьевой воде, доочищенной картриджами с разной выработкой ресурса, не могут быть результатом ошибки или погрешности, так как схожие данные были получены при пятикратном повторении эксперимента, что свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Полученные результаты оценки влияния воды питьевой бутилированной показали, что большинство образцов не повлияли на выживаемость дафний отрицательным образом, за исключением образца воды под номером 5, которой уже в процессе проведения эксперимента на острую токсичность вызвал гибель 100% тест-объектов. Это может свидетельствовать о содержании в этом образце воды определенных веществ, которые формируют условия, оказывающие токсичное

действие на данные организмы. При этом интересным представляется тот факт, что образец воды под номером пять отличался самым низким уровнем общей минерализации.

Четыре из пяти образцов воды бутилированной имели отрицательные значения комплексного показателя токсичности, т. е. тест-объекты, помещенные в исследуемую бутилированную воду, чувствовали себя лучше (были выше показатели рождаемости и выживаемости), чем в привычной им среде культивирования, служившей контролем.

Заключение

Результаты проведенного исследования показывают, что определение комплексного показателя токсичности можно использовать с целью выявления отличий в качестве воды питьевой, как бутилированной, так и доочищенной бытовыми водоочистными устройствами. Однако, можно отметить, что одних только данных биотестирования недостаточно, чтобы однозначно сказать, почему между водой, доочищенной разными фильтрами, и водой питьевой бутилированной имеет место такая существенная разница в показателе токсичности.

Проведенные исследования показали эффективность использования биотестирования как метода анализа качества питьевой воды, доочищенной бытовыми водоочистными устройствами. Перспективным представляется дальнейшее изучение влияния БВУ на качество и безопасность воды при помощи биотестирования, но с проведением параллельных экспериментов с задействованием иных тест-объектов. В нашем понимании следующим этапом должно стать использование водорослей и инфузорий, как наиболее неприхотливых и дешевых тест-объектов. Также вызывает интерес апробация воды питьевой бутилированной и доочищенной воды на простейших червях – планариях. Целесообразным представляется совмещение эксперимента биотестирования воды с физико-химическим исследованием образцов воды.

Литература

- 1 Tickner D., Opperman J., Abell R., Acreman M. et al. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan // *Bioscience*. 2020. V. 70. № 4. P. 330–342.
- 2 Grizzetti B., Lanzanova D., Lique C., Reynaud A. et al. Assessing water ecosystem services for water resource management // *Environmental Science & Policy*. 2016. V.61. P.194–203.
- 3 Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Анализ пищевых рисков и безопасность водного фактора // *Анализ риска здоровью*. 2018. № 4. С. 31–42.
- 4 Zaitseva N., Kleyn S., Vekovshinina S.A., Glukhikh M. The quality of drinking water of centralized water supply systems and its impact on public health // *The International Conference «Health and wellbeing in modern society»*. *Advances in Health Sciences Research*. 2020. V. 28. P.369–374.
- 5 Клейн С.В., Вековщина С.А. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного питьевого водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения // *Анализ риска здоровью*. 2020. № 3. С. 49–60.
- 6 Ferreira M.M., Fiore F., Saron A., Da Silva G. Systematic review of the last 20 years of research on decentralized domestic wastewater treatment in Brazil: state of the art and potentials // *Water Science and Technology*. 2021. V. 84. № 12. P. 3469–3488.

- 7 Hafeez A., Shamair Z., Shezad N., Javed F. et al. Solar powered decentralized water systems: a cleaner solution of the industrial wastewater treatment and clean drinking water supply challenges // *Journal of Cleaner Production*. 2020. V. 289. P.125717.
- 8 Bi B., Liu X., Gu X., Lu S. Occurrence and risk assessment of heavy metals in water, sediment, and fish from Dongting Lake, China // *Environmental Science and Pollution*. 2018. V. 25. № 34. P. 34076–34090.
- 9 Danilo MV B., Oluwadara A., Anderson S.S. Microbial diversity and ecology of bottled water // *Current opinion in food science*. 2024. V. 60. P. 101218.
- 10 Лавров К.Л. О потреблении, качестве и безопасности воды питьевой бутилированной // Конкурентоспособность территорий: XIX Всероссийский эконом. форум молодых ученых и студентов: в 8 ч., Екатеринбург, 27–28 апреля 2016 года. Часть 7. 2016. С. 205–208.
- 11 Амбаршумян Л.И., Губа Е.Н., Гусева М.В., Диянова С.Н. и др. Проблемы качества и безопасности бутилированной питьевой воды // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2018. Т. 364, № 4. С. 96–99.
- 12 Curutiu C., Iordache F., Gurban P., Lazar V. et al. Main microbiological pollutants of bottled waters and beverages // *Bottled and Packaged Water. The science of beverages*. Woodhead Publishing. 2019. V. 4. P. 403–422.
13. Kunz J.M., Lawinger H., Miko S. et al. Surveillance of waterborne disease outbreaks associated with drinking water – United States, 2015–2020 // *MMWR Surveillance Summaries*. 2024. V.73. № 1. P.1–23.
- 14 Сергеев В.И., Тряслобова М.А., Рыжаенков В.Г. Может ли бутилированная вода оказаться фактором передачи возбудителей острых кишечных инфекций? // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2014. № 4. С. 24–27.
- 15 Eliseeva L.G., Makhotina I.A., Gorozhanin P.P., Yurina O.V. Experience in the application of bioassays with planarian in the studies of drinking bottled water safety // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. V. 6. № 264. P. 29–33.
- 16 ГОСТ Р 56236–2014 Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus. – М.: Стандартинформ, 2016. – 40 с.
- 17 ФР.1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков, сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва, «Акварос». 2007. 51 с.
- 18 Министерство природных ресурсов РФ. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. Москва. 2002. РЭФИА, НИА-Природа. 61 с.
- 19 Кряжевских А.А., Бардина В.И., Склярова Н.А. Методы биотестирования для обнаружения лекарственных средств в водной среде // *Формулы фармации*. 2022. Т. 4, № 1. С. 61–69.
- 20 Saksonov M.N., Balayan A.E., Kashina N.F., Barkhatova O.A. Comparison of the sensitivity of biotesting techniques in determining the toxicity of heavy metals and phenolic compounds // *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018*. V.18. P.207–212.
- 21 Строганов Н.С., Исакова Е.Ф., Колосова Л.В. Метод биотестирования качества вод с использованием дафний // *Методы биоиндикации и биотестирования природных вод*. 1987. №. 1. С. 5–12.
- 22 Флеров Б.А. Сравнительное изучение реакций избегания токсических веществ у некоторых водных животных // *Физиология и паразитология пресноводных животных*. Л., 1979. С. 81–87.
- 23 Гаевский Н.А., Горбанева Т.Б. Морфофизиологические реакции клеток микроводорослей на действие токсикантов в искусственных и природных экосистемах // *Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования*. Томск, 1998. С. 312–313.
- 24 Лукьянцева Л.В. Биологическое тестирование природных вод // *Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования*. Томск, 1998. С. 329–330.
- 25 Олькова А. С. Актуальные направления развития методологии биотестирования водных сред" Вода и экология: проблемы и решения. 2018. №2 (74). С. 40-50.
- 26 Чашин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд И.О. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // *Экология человека*. 2014. № 1. С. 3–12.

References

- 1 Tickner D., Opperman J., Abell R., Acreman M. et al. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan // *Bioscience*. 2020. Vol. 70. no. 4. pp. 330–342.
- 2 Grizzetti B., Lanzanova D., Liquele C., Reynaud A. et al. Assessing water ecosystem services for water resource management // *Environmental Science & Policy*. 2016. Vol. 61. pp. 194–203.
- 3 Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I. Analysis of food risks and water factor safety // *Risk Analysis to Health*. 2018. no. 4. pp. 31–42. (in Russian).
- 4 Zaitseva N., Kleyn S., Vekovshinina S.A., Glukhikh M. The quality of drinking water of centralized water supply systems and its impact on public health // *The International Conference «Health and wellbeing in modern society»*. *Advances in Health Sciences Research*. 2020. Vol. 28. pp. 369–374.
- 5 Klein S.V., Vekovshinina S.A. Priority risk factors of drinking water in centralized water supply systems forming negative trends in public health // *Risk Analysis to Health*. 2020. no. 3. pp. 49–60. (in Russian).
- 6 Ferreira M.M., Fiore F., Saron A., Da Silva G. Systematic review of the last 20 years of research on decentralized domestic wastewater treatment in Brazil: state of the art and potentials // *Water Science and Technology*. 2021. Vol. 84. no. 12. pp. 3469–3488.
- 7 Hafeez A., Shamair Z., Shezad N., Javed F. et al. Solar powered decentralized water systems: a cleaner solution of the industrial wastewater treatment and clean drinking water supply challenges // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 289. pp. 125717.
- 8 Bi B., Liu X., Gu X., Lu S. Occurrence and risk assessment of heavy metals in water, sediment, and fish from Dongting Lake, China // *Environmental Science and Pollution*. 2018. Vol. 25. no. 34. pp. 34076–34090.
- 9 Danilo M.V.B., Oluwadara A., Anderson S.S. Microbial diversity and ecology of bottled water // *Current Opinion in Food Science*. 2024. Vol. 60. pp. 101218.
- 10 Lavrov K.L. Consumption, quality, and safety of bottled drinking water // *Competitiveness of Territories: Materials of the XIX All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students: in 8 parts, Yekaterinburg, April 27–28, 2016. Part 7*. 2016. pp. 205–208. (in Russian).

- 11 Ambartsumyan L.I., Guba E.N., Guseva M.V., Dianova S.N. et al. Problems of quality and safety of bottled drinking water // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Food Technology*. 2018. Vol. 364. no. 4. pp. 96–99. (in Russian).
- 12 Curutiu C., Iordache F., Gurban P., Lazar V. et al. Main microbiological pollutants of bottled waters and beverages // *Bottled and Packaged Water. The Science of Beverages*. Woodhead Publishing. 2019. Vol. 4. pp. 403–422.
- 13 Kunz J.M., Lawinger H., Miko S. et al. Surveillance of waterborne disease outbreaks associated with drinking water – United States, 2015–2020 // *MMWR Surveillance Summaries*. 2024. Vol. 73. no. 1. pp. 1–23.
- 14 Sergevnin V.I., Tryasolobova M.A., Ryzhayenkov V.G. Can bottled water be a factor in the transmission of acute intestinal infections? // *Epidemiology and Infectious Diseases*. 2014. no. 4. pp. 24–27. (in Russian).
- 15 Eliseeva L.G., Makhotina I.A., Gorozhanin P.P., Yurina O.V. Experience in the application of bioassays with planarian in the studies of drinking bottled water safety // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. Vol. 6. no. 264. pp. 29–33.
- 16 State Standard 56236–2014. Water. Determination of toxicity based on the survival of freshwater crustaceans *Daphnia magna* Straus. Moscow: Standartinform, 2016. 40 p. (in Russian).
- 17 FR.1.39.2007.03222. Biological control methods. Methodology for determining the toxicity of water and water extracts from soil, sediments, wastewater, and waste based on the mortality and fertility changes in daphnia. Moscow, Aquaros, 2007. 51 p. (in Russian).
- 18 Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. Guidelines for determining the toxicity of water, bottom sediments, pollutants, and drilling fluids by biotesting. Moscow, REFIA, NIA-Priroda, 2002. 61 p. (in Russian).
- 19 Kryazhevskikh A.A., Bardina V.I., Sklyarova N.A. Biotesting methods for detecting pharmaceuticals in aquatic environments // *Formulas of Pharmacy*. 2022. Vol. 4. no. 1. pp. 61–69. (in Russian).
- 20 Saksonov M.N., Balayan A.E., Kashina N.F., Barkhatova O.A. Comparison of the sensitivity of biotesting techniques in determining the toxicity of heavy metals and phenolic compounds // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Vol. 18. pp. 207–212.
- 21 Stroganov N.S., Isakova E.F., Kolosova L.V. Method of biotesting water quality using daphnia // *Methods of Bioindication and Biotesting of Natural Waters*. 1987. no. 1. pp. 5–12. (in Russian).
- 22 Flerov B.A. Comparative study of avoidance reactions to toxic substances in some aquatic animals // *Physiology and Parasitology of Freshwater Animals*. Leningrad, 1979. pp. 81–87. (in Russian).
- 23 Gaevsky N.A., Gorbaneva T.B. Morphophysiological reactions of microalgae cells to toxicants in artificial and natural ecosystems // *State of Aquatic Ecosystems in Siberia and Prospects for Their Use*. Tomsk, 1998. pp. 312–313. (in Russian).
- 24 Lukyantseva L.V. Biological testing of natural waters // *State of Aquatic Ecosystems in Siberia and Prospects for Their Use*. Tomsk, 1998. pp. 329–330. (in Russian).
- 25 Olkova A.S. Current trends in the development of methodologies for biotesting aquatic environments // *Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2018. no. 2 (74). pp. 40–50. (in Russian).
- 26 Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland I.O. Characteristics of the main risk factors for public health in territories with active natural resource use in the Arctic // *Human Ecology*. 2014. no. 1. pp. 3–12. (in Russian).

Сведения об авторах

Сергей Л. Калачев к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный пер, 36, г. Москва, 115054, Россия, kalatchev.sl@rea.ru

<https://orcid.org/0009-0003-5926-4350>

Ирина Б. Леонова к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный пер, 36, г. Москва, 115054, Россия, leonova.ib@rea.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9653-0956>

Назиря А. Ибрагимова к.т.н., доцент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный пер, 36, г. Москва, 115054, Россия, ibragimova.na@rea.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6349-3365>

Ольга В. Фукина д.т.н., профессор, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова, Стремянный пер, 36, г. Москва, 115054, Россия, fukina.ov@rea.ru

<https://orcid.org/0009-0004-7701-4723>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey L. Kalachev Cand. Sci. (Tech.), associate professor, department of Commodity expertise and customs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia, kalatchev.sl@rea.ru

<https://orcid.org/0009-0003-5926-4350>

Irina B. Leonova Cand. Sci. (Tech.), associate professor, department of Commodity expertise and customs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia, leonova.ib@rea.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9653-0956>

Nazirya A. Ibragimova Cand. Sci. (Tech.), associate professor, department of Commodity expertise and customs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia, ibragimova.na@rea.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6349-3365>

Olga V. Fukina Doctor. Sci. (Tech.), professor, department of Commodity expertise and customs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane 36 Moscow, 115054, Russia, fukina.ov@rea.ru

<https://orcid.org/0009-0004-7701-4723>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 30/10/2024	После редакции 14/11/2024	Принята в печать 25/11/2024
Received 30/10/2024	Accepted in revised 14/11/2024	Accepted 25/11/2024