

УДК [502.51(282.02): 556.3.01]: 574.24

Проблемы безопасности родниковых вод и оценка воздействия уровня загрязнения на объекты биосферы

*Буймова С.А.¹, канд. хим. наук, доцент; Бубнов А.Г.^{1,2}, д-р хим. наук, доцент;
Каленова А.А.¹; Малова Ю.А.¹; Колотилова А.А.¹; Лузева Ю.С.¹*

¹ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет

²ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Аннотация. Рассмотрены проблемы безопасности родников (включая экосистему в целом – почвенный и растительный покров, атмосферные осадки). Представлены результаты мониторинга проб родниковой воды, отбираемых из источников, расположенных на территории городов Иваново и Кохма Ивановской области, в том числе динамика контролируемых показателей качества вод. Проведено сравнение полученных значений с нормативными требованиями и выявлены критериальные (приоритетные) показатели качества. Проанализированы и предложены наиболее приемлемые способы очистки родниковой воды в бытовых условиях.

Ключевые слова. биотестирование, родниковая вода, индикатор качества, химический анализ, очистка.

Spring water safety problems and assessment of the impact of the pollution level on the objects of the biosphere

Buymova S.A.¹, Ph.D. of Chemical Sciences, Docent;

Bubnov A.G.^{1,2}, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Chemical Sciences, Docent;

Kalenova A.A.¹; Malova Yu.A.¹; Kolotilova A.A.¹

¹ FSBEI HE Ivanovo State University of Chemistry and Technology

² FSBEI HE Ivanovo Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia

Abstract. The problems of safety of springs (including the ecosystem as a whole - soil and vegetation cover, precipitation) are considered. The results of monitoring of samples of spring water taken from sources located on the territory of the cities of Ivanovo and Kokhma, Ivanovo region, including the dynamics of monitored indicators of water quality are presented. The obtained values were compared with the regulatory requirements and criterion (priority) quality indicators for spring waters were identified. The most acceptable methods of purification of spring water in domestic conditions have been analyzed and proposed.

Keywords. biotesting, spring water, quality indicator, chemical analysis, purification.

В Российской Федерации вода из артезианских источников относится к стратегическим видам природных ресурсов, значение которых как источника хозяйственно-питьевого водоснабжения населения с каждым годом возрастает. И эти, и другие подземные воды (особенно верхних, неглубоко залегающих, водоносных горизонтов) вслед за другими элементами окружающей среды испытывают негативное влияние хозяйственной деятельности человека. Негативное воздействие промышленности и рост моторизованности привели к увеличению концентрации вредных примесей во всех компонентах окружающей среды.

Поскольку любая водная экосистема имеет сложную структуру подвижных биологических связей, которые нарушаются под воздействием антропогенных факторов, оценка степени загрязнения водного объекта по поведению живых организмов позволяет быстро установить его санитарное состояние, определить степень и характер загрязнения. В природных водах (включая подземные), как правило,

присутствует целый ряд поллютантов, то необходимо иметь данные о возможном неблагоприятном токсическом действии как обнаруженных, так и неидентифицированных компонентов. В связи с этим целями работы являлись анализ и оценка состояния экосистемы родников (включая родниковые воды) с применением физико-химических методов и биотестового анализа (процедуры установления токсичности среды с помощью тест-организмов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-организмов).

Для предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций с помощью контроля и выявления изменений в окружающей среде (ОС) можно использовать доступные визуальные средства – почвенные и растительные биоиндикаторы (по изменению внешнего вида, химического состава, поведения).

Исследовались три природных источника на территории областного центра Ивановской области. Были собраны произрастающие растения на исследованных территориях вблизи родников. Впервые мониторинг осуществлялся в вегетативный период, когда происходило произрастание семян, клубней и луковиц у растений. На этом этапе, в результате визуального исследования определено видовое разнообразие растений. Результаты идентификации показали, что видовое разнообразие взаимосвязано с уровнем антропогенного воздействия. Так вблизи родника расположенного в г. Кохма произрастает наибольшее количество различных растений, а наименьшее количество видов было характерно для площадки около родника в г. Иваново в районе городского бассейна.

На втором этапе была определена густота стояния растений. В результате визуальной оценки, анализированные площадки могут быть представлены следующим образом (в последовательности уменьшения антропогенного воздействия): родник № 1 → родник № 2 → родник № 3.

Подготовленный видовой гербарий из собранных растений, показал, что наиболее часто у родников встречаются такие виды растений как: мать-и-мачеха (*Tussilágo*), одуванчик (*Tagáxasum*), подорожник (*PlantagomajorL*), осока (*CarexgloabularisL*), крапива (*Urticadioica L.*). Необычным растением, свойственным для всех трёх площадок была отмечена земляника (*Fragária*). Это говорит о наличии слабокислых и нейтральных почвах с pH 4,5 – 7,0, а также о недостатке азота (бледно-зелёный окрас растений) [1].

Мониторинг почвенной мезофауны проводился во время проявления первой активности беспозвоночных животных после зимнего периода, методом выборки животных из почвы. В ходе проведения визуальных наблюдений обнаружено наличие поясковых червей в почвенном покрове, что указывает на низкие концентрации загрязняющих веществ в почве. Наличие муравьёв вблизи родников г. Иваново способствует более быстрому разложению и гумификации растительных остатков, и повышению биологической активности почв. Наличие мокриц, выявленное у родника в г. Кохма, свидетельствует о локальной повышенной влажности.

По итогам исследования определено, что каждый выявленный вид в пределах своего ареала встречается только в тех местообитаниях, которые обеспечивают полный комплекс необходимых для проявления жизнедеятельности условий. Для почвы, находящейся вблизи родников, наиболее удобными тест-животными являются дождевые черви, щелкуны и их личинки, крупные жуличицы, некоторые виды мокриц, чернотелки и их личинки.

Результаты химического анализа почвенных образцов показали наличие соединений Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , при этом содержание Zn^{2+} , Pb^{2+} и Ni^{2+} было незначительным. Соединения тяжёлых металлов являются одними из критериальных загрязнителей родниковых вод [2]. Поэтому химический анализ атмосферных осадков (дождевых и талых вод), а также опада растений очень важен для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха и его влияния на состав и качество экосистем родников в целом. Атмосферные выпадения и липовый опад эффективно сорбируют различные примеси из атмосферы, в том числе выбросы от техногенных источников и автомобильного транспорта при этом поллютанты могут попадать в родниковые воды и наносить ущерб здоровью людей, употребляющих эту воду в качестве питьевой.

Содержание вредных примесей в исследованных образцах талых вод контролировалось стандартными методами химического и физико-химического анализа. В работе был оценён риск от загрязнения атмосферного воздуха соединениями металлов (Zn^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+}) для человека, растений и биосферы в целом при хроническом воздействии [3]. Рассчитанные значения могут быть отнесены к недопустимой (высокой) степени риска. Полученные результаты химического состава атмосферных

осадков и опада растений свидетельствуют о неблагоприятной экологической обстановке территорий вблизи родников и у ближайших к ним автомобильных дорог.

После рассмотрения почвенных и растительных биоиндикаторов, дающих общие сведения об уровне загрязнённости экосистемы в целом, был проведён биотестовый анализ родниковой воды. Биотестирование качества воды проводилось на основе анализа гибели ракообразных *Daphnia Magna* [4]. Отметим, что *Daphnia Magna* широко распространены в природе, легко культивируются и обладают высокой чувствительностью к токсикантам различной природы [5]. Методика биотестирования рекомендована органами Росприроднадзора для анализа и оценки качества сточных, поверхностных и подземных вод, донных отложений, а также водных растворов отдельных веществ и их смесей [4; 6]. Представленный метод позволяет установить наличие или отсутствие острой летальной и хронической токсичности воды.

Для анализа были отобраны пробы воды из трёх родников, расположенных в городах Иваново и Кохма, а также параллельно анализировалась вода из городской централизованной системы водопровода. Для анализа использовались *Daphnia Magna* третьего поколения в возрасте до 24 ч. Продолжительность биотестирования составляла 96 ч, начальная посадка *Daphnia Magna* – 10 шт. В каждом опыте в течение определённого времени подсчитывалось количество выживших особей [6].

Пробы родниковой воды отбирались в переходный период года (июне и сентябре 2020 г.), т.е. в период интенсивных атмосферных выпадений. Пригодность культуры к биотестированию определялась чувствительностью тест-организмов к стандартному токсиканту – раствору $K_2Cr_2O_7$. С этой целью было установлено среднее значение величины летального времени – LT_{50} , которое находилось в пределах 24 ч. Результаты биотестирования считаются достоверными, если гибель тест-организмов в контрольной пробе за весь период наблюдений не превышает 10 %. Это условие выполнялось.

Результаты исследований проб родниковой и водопроводной воды представлены на рис. 1. Результаты эксперимента показали, что пробы водопроводной воды обладают острым токсическим действием на тест-организмы, а для проб родниковой воды характерно наличие хронической интоксикации.

На основании полученных данных можно провести ранжирование источников родниковой воды по уровню токсического эффекта (в порядке снижения): городская водопроводная вода → родник в городе Кохма → родник в районе городского бассейна г. Иваново → родник в парке отдыха «Харинка» г. Иваново.

Для определения возможных причин гибели тест-организмов и идентификации поллютантов, содержащихся в пробах воды, в работе проводился анализ состояния исследованных образцов вод с применением физико-химических методов исследования. Контроль качества воды осуществлялся по следующим показателям:

- 1) органолептическим: запах, привкус, цветность, мутность;
- 2) обобщённым: pH, ХПК_{KMnO4}, жёсткость, общая минерализация, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ);
- 3) содержанию анионов: SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- ; 4) содержанию катионов: NH_4^+ , Pb^{2+} , Al^{3+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} а также общее содержание $Cu_{общ}$, $Fe_{общ}$, $Mn_{общ}$, $Cr_{общ}$.

Выбор контролируемых показателей качества воды был обусловлен:

- 1) гигиеническими требованиями, предъявляемыми к качеству питьевой воды. Безвредность по химическому составу определяется её соответствием нормативам по:

- обобщённым показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение (pH, общая минерализация и жесткость, ХПК (по перманганатной окисляемости), содержание СПАВ, SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Pb^{2+} , Al^{3+} , $Cu_{общ}$, $Fe_{общ}$, $Mn_{общ}$, $Cr_{общ}$;

- содержанию вредных химических веществ, загрязняющих природные воды в результате хозяйственной деятельности человека (NO_2^- , NH_4^+);

- 2) токсичностью соединений (для большинства веществ лимитирующий признак вредности (ЛПВ) – санитарно-токсикологический) и их способностью концентрироваться в трофических цепях (Pb^{2+});

3) необходимостью наличия ряда элементов в человеческом организме, которые могут поступать вместе с водой и пищей (Ca, Mn, Fe, Cu, Cr и др.).

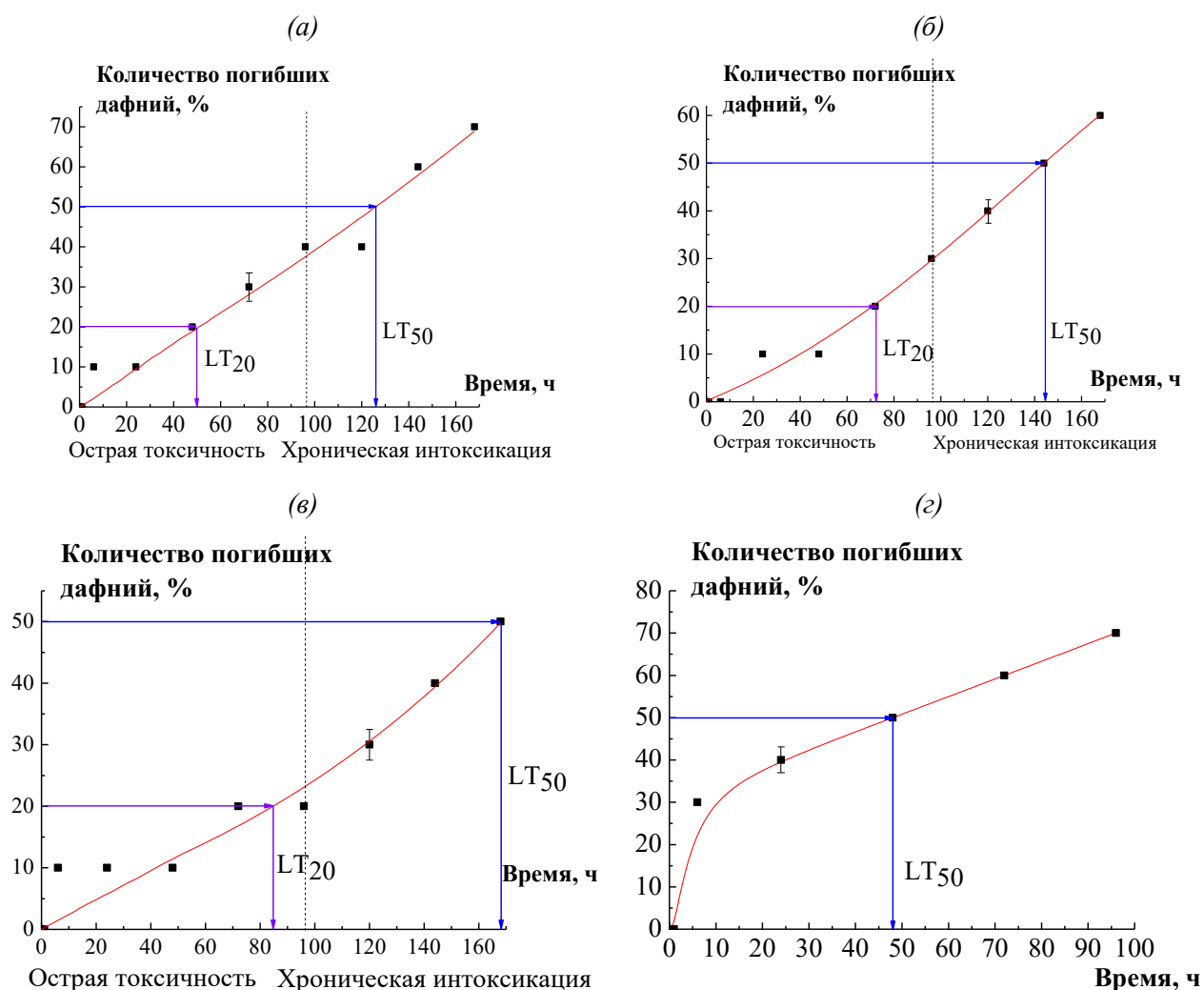


Рис. 1. Зависимость количества погибших дафний от времени при биотестировании родниковой воды из природных источников: район городского бассейна г. Иваново (а), родник в г. Кохма (б), район парка отдыха «Харинка» в г. Иваново (в) и водопроводной воды (г)

В случае возникновения ЧС природного или техногенного характера возможно использование для питьевых целей родниковой воды, а гигиенические требования, предъявляемые к качеству воды нецентрализованного водоснабжения такие же, как и предъявляемые к водопроводной воде, то для оценки качества родниковой воды нами были использованы ПДК_{пит} в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 [7].

Наблюдения показали, что органолептические показатели качества оставались одинаковыми почти на протяжении всего времени исследования. В большинстве случаев пробы воды из всех рассматриваемых родников были прозрачными, бесцветными, без осадка, не имели запаха и вкуса.

Значения температуры родниковой воды из трёх рассматриваемых источников находились примерно на одном уровне и изменялись одинаково. Исследованные нами родники относятся к холодным (т.к. температура воды на протяжении всего периода наблюдений находилась в интервале от 4 до 10 °С).

В исследованных природных источниках были обнаружены превышения нормативных требований по следующим показателям качества: по величине общей жёсткости (на уровне 1,3 ПДК_{пит}), содержанию NO₃⁻ (до 1,8 ПДК_{пит}) и СПАВ (до 5,0 ПДК_{пит}) – рис. 2.

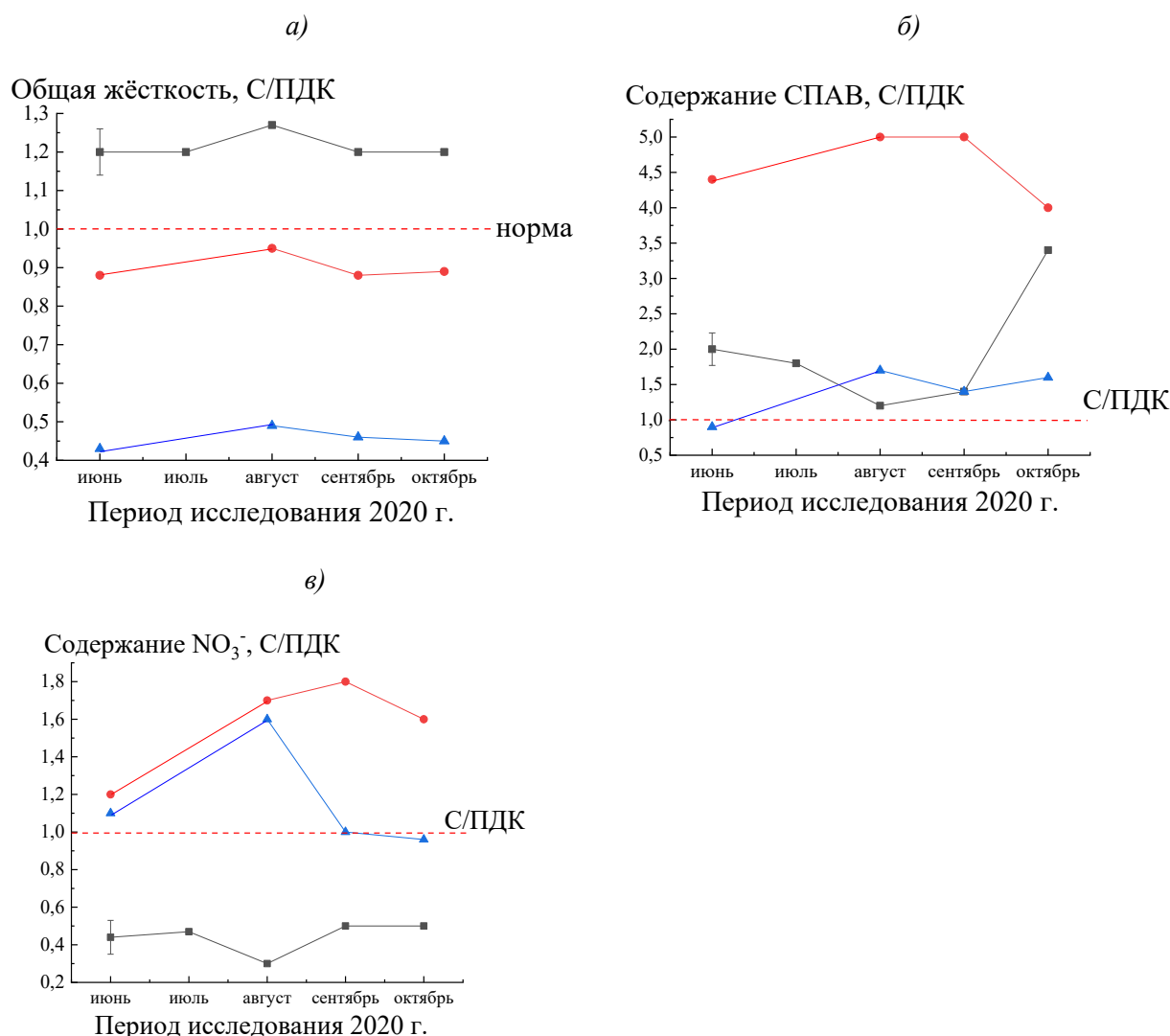


Рис 2. Изменение величин общей жёсткости (а), СПАВ (б), величины NO₃⁻ (в) для родниковой воды (период исследований июнь – октябрь 2020 г.).
 – ■ – родник № 1 (г. Иваново, район городского бассейна);
 – ● – родник № 2 (г. Кохма);
 – ▲ – родник № 3 (г. Иваново, парк отдыха).

Таким образом, результаты исследования с применением физико-химических методов подтвердили данные, полученные методом биотестирования.

Обнаруженные в родниковой воде компоненты могут вызвать неблагоприятное влияние на организм человека при постоянном употреблении воды данного состава в питьевых целях. А именно, повышенное содержание солей жёсткости может приводить к развитию мочекаменной и желчекаменной болезни, повышенной свертываемости крови и образованию тромбов. СПАВ оказывают негативное влияние на центральную нервную систему человека, а именно парализуют передачу возбуждения с нерва на скелетную мышцу. Нитраты способствуют образованию в крови метгемоглобина, препятствующего нормальному окислительному процессу в организме (т.е. ухудшается транспортировка кислорода). При взаимодействии анионов NO₃⁻ с алифатическими и ароматическими аминами, как в природных водах, так и в организме человека образуются нитрозамины, являющиеся активными канцерогенами.

Поэтому перед пероральным употреблением родниковой воды необходима её очистка (обработка). Эксперименты показали, что после дополнительной обработки воды (даже в домашних условиях, с использованием наиболее доступных методов – кипячения и фильтрования на бытовых фильтрах)

содержание вредных компонентов в воде значительно снижается до достижения значений, установленных нормативными документами.

Таким образом, оценка состояния родниковых вод с применением биотестового и физико-химических методов анализа показала наличие в воде поллютантов, которые могут приводить к хронической интоксикации организма (при постоянном употреблении воды данного состава в питьевых целях). Поэтому вода из исследованных природных источников может быть использована в качестве альтернативного источника питьевой воды строго после предварительной водоподготовки.

В работе был проведён подбор бытовых очистительных установок для доочистки родниковой воды данного качества. Оптимальным вариантом для данной цели стало устройство, основанное на адсорбционной очистке в виде кувшин-фильтра со сменными модулями. Основными преимуществами данного типа установки является – легкость в эксплуатации, компактный размер и легкость транспортировки, степень фильтрации, невысокая цена.

Наиболее популярными торговыми марками фильтров являются «Аквафор» и «Барьер». «Аквафор А5» – сменный модуль для фильтра-кувшина очищает воду от вредных примесей, улучшает вкус и запах воды, содержит дополнительный блок для минерализации магнием [8].

Модуль А5 состоит из активированного кокосового угля, перламутрового доломита, ионо-обменной смолы, соединений магния.

Перламутровый доломит – природный минерал, который сохраняет в воде полезные соединения магния в оптимальных для здоровья и безопасных концентрациях. Гранулы активированного угля, смешанные с волокном Аквален и ионообменной смолой – как губка, впитывают вредные примеси, например, хлор и его соединения, нефтепродукты, другие токсины. Активированный кокосовый уголь сорбирует хлор и другие опасные примеси. Ионообменная смола нормализует минеральный состав воды, смягчает воду, снижая образование накипи.

Кассета «Барьер Классик» помогает удалить из воды хлор и его соединения, различные примеси механического происхождения, а также посторонние запахи и привкусы.

Данная кассета состоит из кокосового активированного угля, обработанного серебром (предотвращает рост бактерий), технологии NanoPlus (увеличивает эффективность и ресурс компонентов кассеты), кокосового активированного угля (удаляет хлор и его соединения), ионообменного волокна (удаляет тяжелые металлы и растворённые соединения железа) [9].

С помощью кувшин-фильтров и сменных модулей «Аквафор А5» и «Барьер Классик» было профильтровано 350 л и 200 л родниковой воды соответственно с интервалом 50 л, которая была отобрана из природного источника, расположенного в районе городского бассейна. Был проведен химический анализ всех проб воды, чтобы проследить зависимость работы сменного модуля и проверить ресурс картриджа, указанный производителем.

Наблюдения показали, что органолептические показатели качества оставались неизменными на протяжении всего времени исследования. Пробы родниковой воды были прозрачными, бесцветными, без осадка, не имели запаха и вкуса. Результаты химического анализа показали, что все исследованные пробы родниковой воды, доочищенные с помощью фильтрующих модулей «Аквафор А5» и «Барьер Классик» соответствовали нормативным требованиям по контролируемым показателям качества.

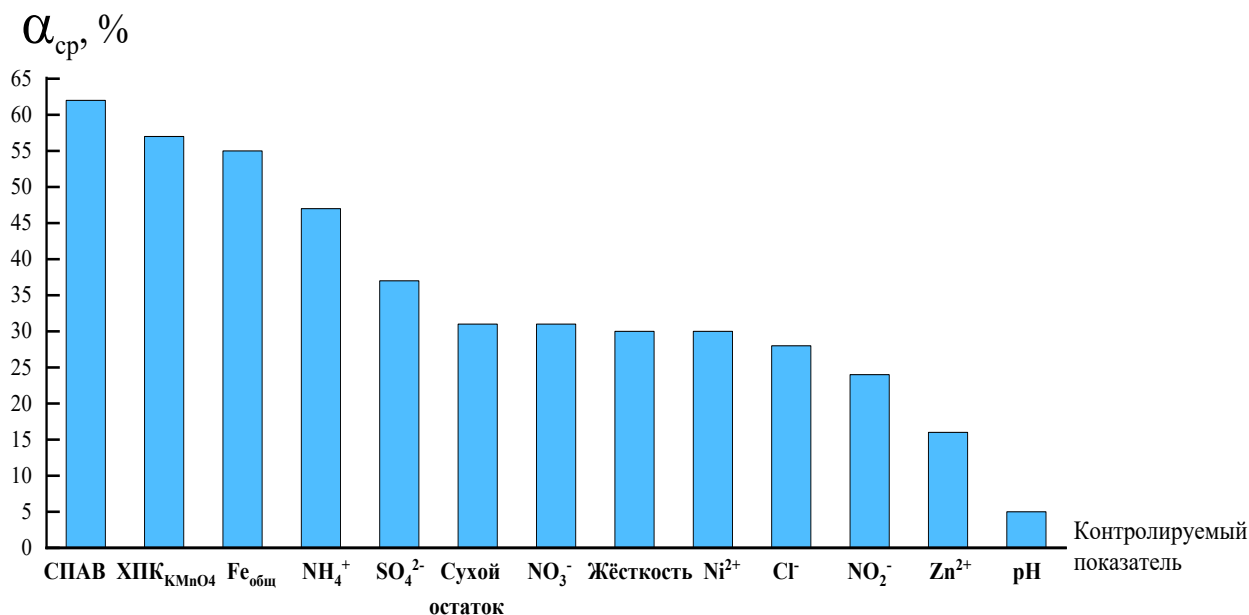
Рассчитанное значение степени доочистки исследуемых образцов показало, что ресурс сменного картриджа «Аквафор А5» был выработан при пропуске 200 л воды (при заявленном изготовителем 350 л), а кассеты «Барьер Классик» при 50 л воды (при заявленном изготовителем 200 л). При этом наибольшая степень очистки рассмотренных картриджами наблюдалась при пропуске 1 – 50 л воды.

На рис. 4 представлено распределение степени удаления компонентов в родниковой воде, доочищенной с применением сменных модулей «Аквафор А5» и «Барьер Классик» в порядке снижения эффективности. Средняя степень доочистки родниковой воды составила 32 %.

На основании данных химического анализа были проведены оценки величины потенциальной опасности (ПО) от перорального употребления исследованных образцов питьевых вод по методике, рекомендованной Министерством здравоохранения РФ [10]. Оказалось, что наибольшая величина ПО была характерна для исходной (предварительно необработанной) пробы родниковой воды (~ 20 %). При постоянном употреблении в питьевых целях такой родниковой воды есть вероятность возникновения гипертонической болезни, а также ишемической болезни сердца и хронического гастрита. Расчёты

показали, что после доочистки родниковой воды с помощью кувшин-фильтров, величина ПО значительно снижается (до 11 %, т.е. в 2 раза).

(а)



(б)

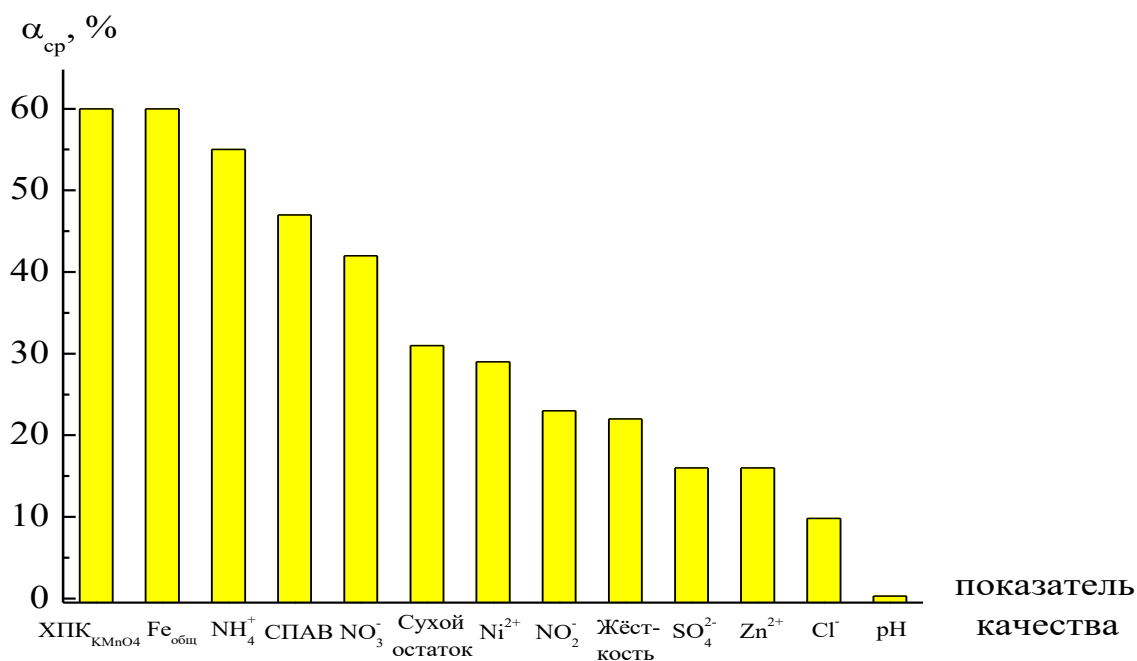


Рис. 4. Распределение степени удаления компонентов в родниковой воде, очищенной с применением сменного модуля «Аквафор А5» (а) и «Барьер Классик» (б)

Значения пожизненного индивидуального риска от употребления родниковой воды, доочищенной с помощью сменных модулей «Аквафор А5» и «Барьер Классик» представлены на рис. 5. Полученные значения риска можно отнести к приемлемому уровню.

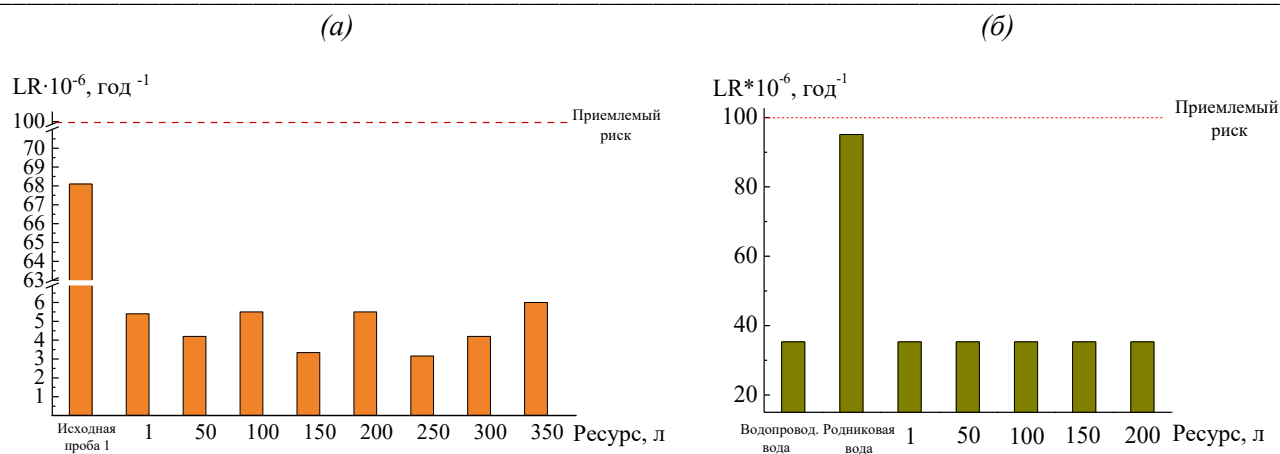


Рис. 5. Пожизненный индивидуальный риск от употребления родниковой воды, доочищенной с помощью сменных модулей «Аквафор А5» (а) и «Барьер Классик» (б)

В работе был оценён возможный ущерб от перорального употребления родниковой воды до и после дополнительной очистки с применением рассматриваемых фильтрующих модулей. Это вероятный ущерб можно характеризовать как минимальный и низкий. Из этого следует сделать вывод о том, что доочистка воды данного качества с помощью устройства, основанного на адсорбционной очистке в виде кувшин-фильтра является эффективной и целесообразной.

Литература

1. Меженский, В.Н. Растения-индикаторы. – М.: Изд.-во АСТ, 2004. – 80 с.
2. Бубнов, А.Г. Мониторинг динамики показателей риска от употребления родниковых вод как резервных в случае чрезвычайных ситуаций на источниках централизованного водоснабжения / А.Г. Бубнов, С.А. Буймова, В.Ю. Курочкин, Д.П. Медведев, Ю.Н. Моисеев // Пожарная и аварийная безопасность. Сетевое издание. № 1 (8) – 2018. С. 153 – 167.
3. Звягинцева, А. В. Количественная оценка рисков в экологической безопасности. Ч. 2. Практическое применение методики оценки риска при загрязнении атмосферы [Текст] / А. В. Звягинцева, Г. В. Аверин // Вісник Донецького університету. Серія «Природничі науки». 2007. № 1. С. 293 – 301.
4. ПНД Ф Т 14.1:2.4.12-06 Токсикологические методы анализа. Методика определения токсичности водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов, питьевой, сточной и природной воды по смертности тест-объекта *Daphnia Magna*. – М.: 2006. – 44 с.
5. Руководство по определению методов биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. – М: РЭФИА, НИА-Природа. 2002. – 118 с.
6. РД 52.24.635-2002. Методические указания. Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования.
7. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения.
8. URL: <http://www.aquaphor.ru> – Официальный сайт «Аквафор» [дата обращения 25.02.2021].
9. URL: <https://www.barrier.ru> – Официальный сайт «Барьер» [дата обращения 25.02.2021].
10. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 марта 2004 г.).