

02.00.00 Chemical sciences

02.00.00 Химические науки

UDC 502.51(282.02):556.3(043.2)

Environmental Risk Assessment of Spring Waters Use¹ Svetlana A. Buimova² Andrei G. Bubnov¹ Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Russia

Friedrich Engels prospect 7, Ivanovo city, 153000

PhD (chemical), Senior lecturer

E-mail: Byumova@mail.ru

² Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Russia

Friedrich Engels prospect 7, Ivanovo city, 153000

Dr. (chemical), Professor

E-mail: bub@isuct.ru

Abstract. The article considers the possibility of use of various techniques used in the Russian Federation to assess the environmental risk of spring waters use, determines criterial pollutants of spring waters in the region.

Keywords: quality of water; spring; environmental risk; biotesting methods.

Введение. Одной из основных жизненно необходимых потребностей человека является необходимость употребления им воды. Поэтому пресная вода не должна являться предметом роскоши, поскольку возможность её иметь для удовлетворения гигиенических нужд должна быть основополагающим правилом любого социального общества [1]. К сожалению, на сегодняшний день, качественная пресная вода стремительно превращается в дефицитный природный ресурс, поскольку количество природной пресной воды не превышает 3 % от всей воды планеты [2, 3].

В большинстве регионов России основным источником питьевой воды является водопроводная вода, которая по своим санитарно-химическим показателям не всегда соответствует нормативным требованиям [4, 5]. Поэтому всё большая часть населения предпочитает употреблять воду из родников, в большинстве случаев справедливо считая её более защищённой от загрязнений с поверхности. Однако в результате интенсивного антропогенного воздействия на все компоненты окружающей среды (ОС) химический состав не только поверхностных, но и родниковых вод заметно изменился, что может привести к различным негативным последствиям при пероральном употреблении родниковых вод [4, 6].

Важно отметить, что на сегодняшний день в России отсутствует методология интегральной оценки качества родниковых вод. Нами ранее [7] было показано, что интегральные расчётные показатели качества вод (каждый в отдельности), разработанные до настоящего времени, нельзя применять для описания уровня загрязнения и ранжирования по качеству родниковой воды, и только их комплексное использование и анализ позволяют объективно охарактеризовать качество родниковой воды. Причём на основе потенциальной опасности воды по [8], можно произвести оценку величины экологического риска от перорального употребления родниковой воды [4]. Вместе с тем, использование различных методов оценки величины экологического риска, может приводить не всегда к одинаковым результатам, и, как следствие, к различным выводам. Результатом последних может оказаться, в свою очередь, разный приоритет для мероприятий, требующих различных средств (материальных, технических, организационных и др.), которых, как правило, не хватает для решения других актуальных социально-экономических задач, особенно в том или ином депрессивном регионе.

Вместе с тем, одним из интегральных экспресс-методов оценки качества воды, в настоящее время, является метод биотестового анализа с применением различных тест-организмов. Под биотестированием понимают экспериментальное определение токсичности, при котором о качестве среды, судят по изменению определенных показателей жизнедеятельности специально помещенных в эту среду организмов – тест-организмов (например, по выживаемости, плодовитости, поведенческим показателям, качеству потомства) [9]. Причём известно, что результаты биотестирования [10] с использованием в качестве тест-организмов ракообразных (например, *Daphnia Magna*) и гуппи (пресноводных аквариумных рыб *Poecilia Reticulata Peters*) дают полную, достоверную и объективную информацию о качестве источников воды. Однако с помощью данного метода можно определить только наличие или отсутствие острой или хронической токсичности воды и, к сожалению, нельзя с точностью сказать какие именно загрязняющие воду вещества вызывают гибель тест-организмов (т.е. идентифицировать поллютанты, присутствующие в воде, методом биотестового анализа невозможно).

Поэтому целями настоящей работы являлись:

1) оценка экологических рисков от перорального употребления родниковых вод на примере одной из областей Центрального Федерального округа России, с использованием различных методик [8, 11 – 14], применяемых в РФ;

2) сравнительная характеристика этих методов и выводов, получаемых по ним, с учётом результатов биотестирования проводимого согласно [15, 16] в период с марта по апрель 2007, 2008 гг.

Методы и данные. Рекомендуемый в [8] метод определения величины потенциальной опасности (ПО) употребления воды позволяет установить взаимосвязь качества воды и величины экологических рисков. Поскольку в указанной методике, не представлена модель прогноза канцерогенного риска, то оценка экологического риска является неполной. В связи с этим фактом, в настоящей работе были проведены дополнительные расчёты величин экологических рисков, характерных для родниковой воды, в соответствии с методикой [17], реализованной в компьютерной программе «Чистая вода» (Версия 2.0). С помощью данной программы, разработанной научно-производственным объединением «ПОТОК» г. Санкт-Петербург [18], была выполнена сравнительная оценка величин экологических рисков от употребления родниковой воды из естественных источников, расположенных в городах и сельской местности, а также водопроводной воды рассматриваемого региона. Программа [18] позволяет оценить величину потенциального экологического риска, связанного с химическим загрязнением питьевой воды. Причём в соответствии с данной методикой, по величине риска можно оценить уровень опасности химического загрязнения родниковых вод.

Для исследований отбирались пробы воды из различных родников, расположенных в Ивановской области РФ (район водосбора реки Волги). Перечень исследованных источников представлен в табл. 1.

Таблица 1

Перечень исследованных родников Ивановской области
(**Красным** цветом отмечены **наиболее** загрязнённые родники, **зелёным** – **наименее** загрязнённые источники)

Города Ивановской области

- | | |
|--|--|
| 1 – г. Иваново, вблизи городского бассейна; | 19 – с. Михайловское (Фурмановский район); |
| 2 – г. Кохма, ул. Советская; | 20 – д. Пурешка (Пестяковский район); |
| 3 – г. Иваново, рекреационный парк отдыха; | 21 – Сельская местность (Пестяковский район); |
| 4 – г. Иваново, район гипермаркета «Евро Лэнд»; | 22 – д. Тимирязево (Лухский район); |
| 5 – г. Кохма, около текстильной фабрики; | 23 – д. Горкино (Родниковский район); |
| 6 – г. Кохма (п. Богданиха, Ивановский район); | 24 – с. Сидоровское (Ивановский район); |
| 7 – г. Комсомольск; | 25 – д. Афанасово (Лежневский район); |

- 8 – г. Шуя, мест. Лихушино;
 9 – г. Шуя, Воскресенский собор;
 10 – г. Шуя, около Посыленского моста;
 11 – г. Родники;
 12 – г. Кинешма;
 13 – г. Юрьевец;
 36 – г. Гаврилов-Посад;
 37 – г. Иваново, мкр-н ТЭЦ 3;
 38 – г. Иваново, мкр-н Сортировка;
 39 – г. Иваново, мкр-н Сластиха;
 40 – г. Иваново, ул. Проездная;
 41 – г. Иваново, вблизи аэродрома.

Сельская местность Ивановской области

- 14 – д. Камешково (Шуйский район);
 15 – д. Якиманна (Шуйский район);
 16 – место, где р. Внучка впадает в р. Теза (Шуйский район);
 17 – с. Кошеево (Родниковский район);
 18 – с. Елховка (Тейковский район);

- 26 – д. Панютино (Лежневский район);
 27 – д. Ясюниха (Ивановский район);
 28 – с. Парское (Родниковский район);
 29 – п. Борис-Глеб (Родниковский район);
 30 – д. Крапивново (Савинский район);
 31 – д. Курьяниново (Шуйский район);
 32 – д. Алешково (Юрьевецкий район);
 33 – д. Михалево (Юрьевецкий район);
 34 – д. Тепловская (Лухский район);
 35 – д. Корсаково (Лухский район).
 42 – д. Новая (Гаврилово-Посадский р-н);
 43 – д. Студенец (Гав-Посадский р-н);
 44 – д. Васильевкое (Шуйский р-н);
 45 – д. Анкино (Вичугский район);
 46 – с. Богородское (Иванов. р-н);
 47 – п. Зелёный Городок (Ивановский р-н);
 48 – д. Каликино (Ивановский р-н);
 49 – д. Андреево (Ивановский р-н);
 50 – д. Шуринцево (Ивановский р-н).

Пробы отбирались в соответствии с [20, 21] – в стеклянные ёмкости, вместимостью 5 дм³ с плотно притёртыми пробками. При этом регистрировались температура воды, окружающего воздуха и расход воды из источника. Фотографии некоторых исследуемых источников представлены на рис. 1. Одновременно с пробами родниковых вод анализировалась вода из городской системы водопровода (рис. 1). Из родников №№ 1 – 3, представленных на рис. 1, пробы воды отбирались ежемесячно в течение 6 лет (2003–2011 гг.). Пробы родниковой воды из остальных источников (№№ 4–50) отбирались 1–4 раза в год с сентября 2002 г. по октябрь 2008 г. Каждый из отобранных образцов воды был проанализирован по 44 показателям качества (на соответствие гигиеническим нормативам) [7]. В частности, результаты анализа показали, что максимальная величина ПО была характерна для родника № 2, а наименьшая – для источника № 3 (рис. 2). При этом для воды из родников №№ 2 и 3 максимальная величина ПО наблюдалась в 2006 г. (рис. 2).

(а)



(б)



(в)



(г)



(д)



(е)



(ж)



(з)



(и)



(к)



Рис. 1. Внешний вид родников, расположенных в городах – № 1 г. Иваново (а), № 2 г. Кохма (б), № 3 г. Иваново, парк отдыха (в), № 38 микрорайон г. Иваново (г) и сельской местности Ивановской области – № 42 д. Новая (д), № 43 д. Студенец (е), № 49 д. Андреево (ж), № 48 д. Каликино (з), № 50 д. Шуринцево (и), а также воды из городской системы водопровода (к).

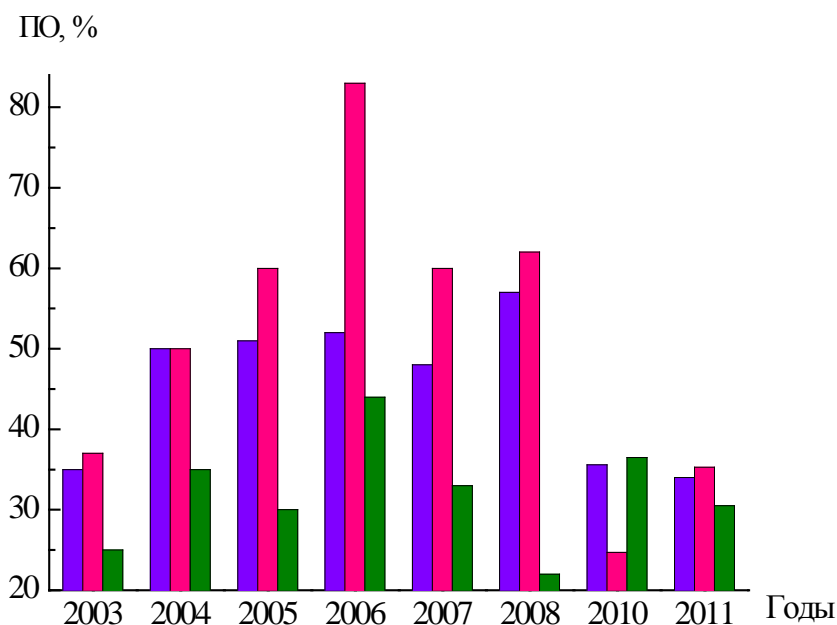


Рис. 2. Динамика усредненных значений потенциальной опасности воды для родников №№ 1 – 3 (период наблюдений 2003 – 2011 гг.).

■ – родник № 1; ■ – родник № 2; ■ – родник № 3.

Обсуждение результатов. Результаты расчётов величины ПО и экологических рисков, характерные для родниковой и водопроводной воды представлены в табл. 2 и на рис. 3–5.

Отметим, что рассчитанные значения величин ПО и экологического риска являются относительными величинами и могут быть использованы, в большинстве случаев, **для сравнительной характеристики нескольких исследуемых образцов питьевой воды.** Нами ранее были показаны основные достоинства и недостатки метода оценки качества родниковых вод на основе величины ПО [7].

Для воды из источников №№ 2 и 3, расположенных на урбанизированной территории, в большинстве случаев, наблюдалась тенденция к увеличению величин экологических рисков (риска развития неблагоприятных органолептических эффектов, хронической интоксикации и общетоксического) от перорального употребления родниковых вод в течение 2003–2011 гг. Уровень риска немедленного действия для родников №№ 1 – 3, в основном, классифицировался как «неудовлетворительный» (рис. 3а), а риск развития хронической интоксикации – «вызывающий опасение» и «опасный» (рис. 3б).

Таблица 2

Экологические риски, характерные для родниковой и водопроводной воды (период наблюдений 2003–2011 гг.)

Номер исследованного источника	Экологический риск, рассчитанный по методике				
	Рекомендуемый [8]	Утверждённой [17]			
		Суммарная величина ПО, %	Риск развития неблагоприятных органолептических эффектов (немедленного действия), %	Риск развития хронической интоксикации, %	Риск канцерогенных эффектов, $\cdot 10^{-4}$, год ⁻¹
1	50	20	16	2,2	35
2	60	43	23	1,6	47
3	31	31	10	4,4	30
Города	41	11,5	16	10	36

(№№ 1 – 13)					
Сельская местность (№№ 14 – 50)	20	2,4	12	13	27
Родниковая вода (№№ 1 – 50)	40,5	7	14	11,5	31,5
Водопровод	10	0,1	10,7	5	27

Примечание. В таблице представлены усредненные значения величин экологических рисков, при этом родниковая вода из некоторых источников (№№ 5, 13, 17, 19, 27, 29, 30, 34, 35) полностью соответствовала нормативным требованиям, поэтому экологический риск от употребления такой воды – минимален.

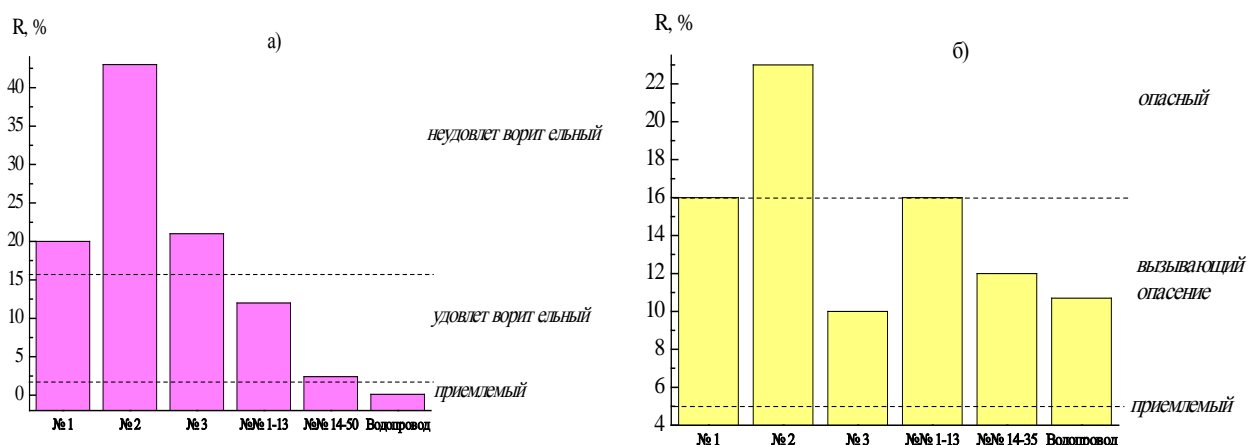


Рис. 3. Риск развития неблагоприятных органолептических эффектов (немедленного действия) – (а) и хронической интоксикации – (б), характерный для родниковой и водопроводной воды (период наблюдений 2003–2011 гг.)

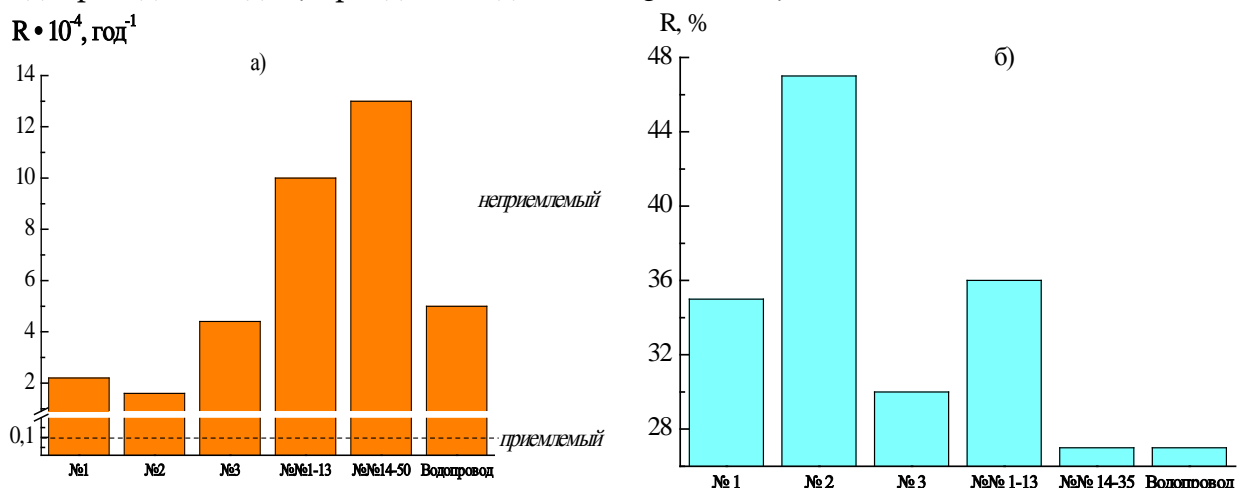


Рис. 4. Риск развития канцерогенных эффектов (а) и общетоксический (суммарный) риск – (б), характерный для родниковой и водопроводной воды (период наблюдений 2003 – 2011 гг.)

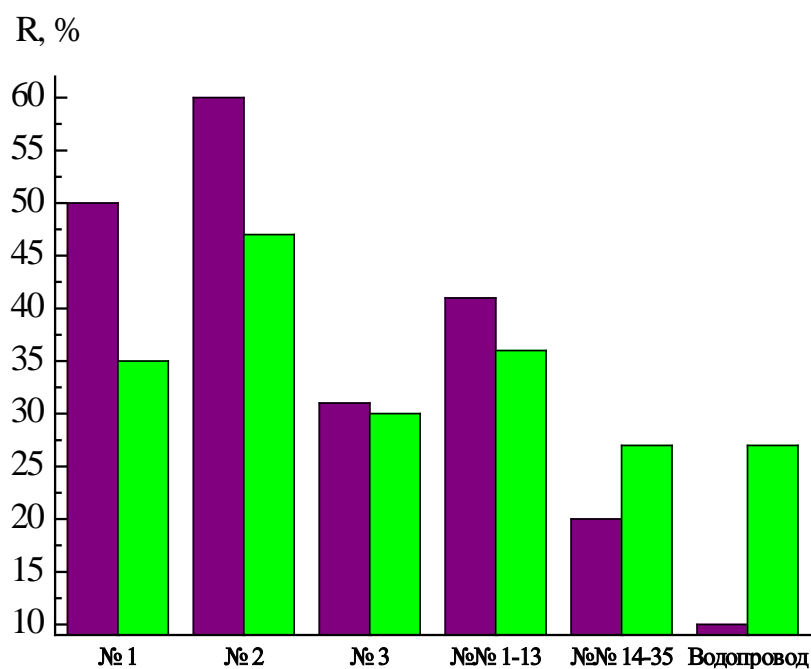


Рис. 5. Экологический риск, характерный для родниковой и водопроводной воды (период наблюдений 2003–2011 гг.) на основе:

– методики эколого-гигиенической оценки интегрального качества воды (величина потенциальной опасности) [8];
 – методических рекомендаций [17], реализованных в компьютерной программе «Чистая вода».

Найденные значения экологических рисков, характерные для родниковых вод исследованного региона, очень высоки и являются не приемлемыми, т.к. превышают минимально допустимую вероятность в 3–15 раз (допустимый (приемлемый) риск лежит в интервале 10^{-4} до 10^{-6} в год) [19].

Биоиндикация по функциональному состоянию тест-организмов позволяет ранжировать воды по классам состояния, даёт интегральную оценку их качества и определяет возможность использования воды для питьевых целей [10]. Критерием оценки состояния вод является % гибели тест-организмов в течение 96 ч экспозиции. Поскольку на сегодняшний день в РФ не существует метода, позволяющего категорировать качество родниковых вод на основании биотестового анализа, то ниже приведена оценка состояния исследуемых вод (родниковой и водопроводной) по классификации, применяемой для поверхностных водных объектов – см. [10]. Т.к. критерием ранжирования является именно гибель тест-организмов, то для классификации исследованных вод были использованы результаты биотестирования только на дафниях, поскольку гибель пресноводных аквариумных рыб гуппи составила 0 %, а в ходе эксперимента изменялись лишь их поведенческие показатели (такие как движение, реакция на внешний раздражитель (сачок), нахождение в аквариуме и питание).

В частности, было получено, что водопроводную воду и родниковую воду из источника № 2 можно отнести к воде с высокой степенью загрязнения, воду из родников №№ 1 и 3 – с повышенной степенью загрязнения, а водопроводную воду после предварительного фильтрования и кипячения в бытовых (домашних) условиях – с низкой степенью загрязнения – см. табл. 3.

Таким образом, результаты проведённого биотестирования подтвердили полученную расчётную информацию о величине экологических рисков, характерных для родниковой и водопроводной воды.

Оценка состояния исследованных источников воды на основании биотестового анализа по гибели ракообразных *Daphnia Magna*

№	Источник питьевой воды	Показатель	
		% гибели в течение 96 ч экспозиции	Степень загрязнения
1	Водопроводная вода	60	Высокая
2	Родник № 2	40	Высокая
3	Родник № 3	30	Повышенная
4	Родник № 1	30	Повышенная
5	Водопроводная вода после фильтрования и кипячения в бытовых (домашних) условиях	10	Низкая

Результаты расчётов показали, что основной вклад в величины экологических рисков для родников №№ 1 – 3 вносили, вероятно, следующие загрязняющие вещества (в порядке убывания):

- органолептические эффекты (немедленного действия): $Mn_{общ} \rightarrow Fe_{общ}$;
- риск хронической интоксикации: $Pb^{2+} \rightarrow NO_3^- \rightarrow Cd^{2+} \rightarrow Na^+, Ni_{общ}$;
- общетоксический (суммарный) риск: $Pb^{2+} \rightarrow Ni_{общ} \rightarrow NO_3^- \rightarrow Cd^{2+} \rightarrow Na^+ \rightarrow NH_4^+ \rightarrow Cr_{общ}$.

Основной вклад в значение величины канцерогенного риска вносили следующие показатели качества (в порядке уменьшения): $As_{общ} \rightarrow Cr_{общ} \rightarrow Pb^{2+}$ (и их содержание и не превышало ПДК_{пит}).

Сопоставление величин экологических рисков для родников в городах и сельской местности исследованного региона, а также водопроводной воды представлены на рис. 3 и 4.

Основной вклад в величины экологических рисков для всех исследованных родников (№№ 1 – 50) вносили следующие загрязняющие вещества (в порядке убывания):

- органолептические эффекты (немедленного действия): $Mn_{общ} \rightarrow Fe_{общ}$;
- риск хронической интоксикации: $Cd^{2+} \rightarrow NO_3^- \rightarrow Pb^{2+} \rightarrow NH_4^+ \rightarrow Na^+ \rightarrow Ni_{общ} \rightarrow As_{общ} \rightarrow Cr_{общ}$;

– общетоксический (суммарный) риск: $Cd^{2+} \rightarrow Ni_{общ} \rightarrow Pb^{2+} \rightarrow NO_3^- \rightarrow NH_4^+ \rightarrow Na^+ \rightarrow Cr_{общ} \rightarrow As_{общ}$.

Следует отметить, что величина канцерогенного риска распределялась в следующей последовательности (в порядке уменьшения):

№№ 14 – 50 → №№ 1 – 13 → № 3, водопровод → № 1 → № 2,

а основной вклад в значение величины экологического риска вносили следующие показатели качества (в порядке убывания): $As_{общ} \rightarrow Cr_{общ} \rightarrow Cd^{2+} \rightarrow Pb^{2+}$ (и, в большинстве случаев, их содержание не превышало ПДК_{пит}).

Таким образом, можно выделить критериальные загрязнители, рекомендуемые для дальнейшего контроля, анализа и оценки качества родниковых вод. Результаты расчётов показали, что наибольший вклад в величину ПО [8] и РИСКА [17] вносили следующие показатели качества (табл. 4).

При этом по величине общетоксического риска исследованные источники можно расположить в следующей последовательности (в порядке убывания, рис. 5):

№ 2 (47 %) → № 1, №№ 1 – 13 (35 и 36 % соответственно) → № 3 (30 %) → №№ 14 – 35, водопровод (по 27 %).

Результаты расчетов показали, что по величине ПО источники можно расположить следующим образом (рис. 5):

№ 2 (57 %) → № 1 (47 %) → №№ 1 – 13 (41 %) → № 3 (33 %) → №№ 14 – 35 (20 %) → водопровод (10 %).

Следовательно, результаты, полученные в соответствии с обеими методиками [8, 17], идентичны, но оценка и ранжирование качества родниковой воды только на основе её

потенциальной опасности по методике [8], не может являться комплексной, объективной и полной.

Таблица 4

Приоритетные ЗВ, выбранные на основании расчетов величин ПО и экологического РИСКА

Показатели качества*	Метод оценки качества питьевой воды	
	ПО	РИСК
Обобщенные показатели		
ХПК _{KMnO4}	+	–
Жёсткость	+	–
СПАВ	+	–
Неорганические вещества		
NO ₃ ⁻	+	+
NO ₂ ⁻	–	+
NH ₄ ⁺	–	+
Металлы		
Li ⁺	+	–
Na ⁺	+	+
K ⁺	+	–
Cd ²⁺	+	+
Pb ²⁺	+	+
Cr _{общ}	+	+
Mn _{общ}	+	+
Fe _{общ}	+	+
Ni _{общ}	+	+
As _{общ}	–	+
Бактериологические показатели		
ОМЧ	+	–

* – серым цветом отмечены те показатели качества, которые вносили наибольший вклад в величины ПО и РИСКА заболеваемости населения от перорального употребления родниковых вод.

Выводы:

1) оценка и ранжирование качества воды (в том числе родниковой) только на основе её потенциальной опасности, рассчитанной на основе методики эколого-гигиенической оценки интегрального качества воды [8], не может являться комплексной, объективной и полной;

2) расчётные величины риска, получаемые на основе методических рекомендаций, реализованных в компьютерной программе «Чистая вода» [17], можно использовать для прогнозирования и оценки качества родниковых вод;

3) к критериальным, загрязняющим родниковую воду, веществам и показателям следует отнести: NO₃⁻, Na⁺, Cd²⁺, Pb²⁺, Cr_{общ}, Mn_{общ}, Fe_{общ}, Ni_{общ}.

Примечания:

1. Hallberg R.O. Способ извлечения железа и марганца из грунтовых вод и биогеохимический процесс, лежащий в его основе // Вода и экология. 2005. № 3. С. 44–54.

2. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: энциклопедический справочник. М.: Изд-во «Протектор», 1995. 624 с.

3. Скворцов Л.С. Состояние и перспективы улучшения питьевого водоснабжения в РФ [и др.] // Экология и промышленность России. 1996. № 9. С. 42, 43.

4. Бубнов А.Г., Буймова С.А., Костров В.В., Куприяновская А.П. Оценка влияния качества родниковых вод Ивановской области на здоровье населения // Экология и промышленность России. 2006. № 11. С. 22–25.

5. Скоробогатова Г.А., Калинин А.И. Осторожно! Водопроводная вода! Её химические загрязнения и способы доочистки в домашних условиях. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2003. 156 с.
6. Буймова С.А. Оценка качества родниковых вод Ивановской области и их влияние на здоровье населения: автореферат дис. ... канд. хим. наук: 03.00.16. Иваново, 2006. 18 с.
7. Бубнов А.Г., Буймова С.А., Костров В.В., Куприяновская А.П. Уровни загрязнения родниковых вод Ивановской области и интегральные показатели их качества // Известия ВУЗов. Сер. Химия и химическая технология. Т. 49. 2006. Вып. 8. С. 86–92.
8. Методика эколого-гигиенической оценки интегрального качества воды и риска здоровью населения. Рекомендована Минздравом РФ. Иваново – Санкт-Петербург, 2002. 18 с.
9. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнителей наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 350 с.
10. Осипов Ю.Б, Львова Е.М. Управление природоохранной деятельностью в Российской Федерации. М.: Варяг, 1996. 268 с.
11. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М.: Госкомгидромет, 1986. 6 с.
12. РД 52.44.2-94. Охрана природы. Комплексное обследование загрязнения природных сред промышленных районов с интенсивной антропогенной нагрузкой.
13. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ. ГНТУ. М.: 1992. 58 с.
14. Пегов С.А. Верхневолжский региональный план действий по охране окружающей среды. 2-ая ред/под ред. С.А. Пегова. Кострома, 2001. 220 с.
15. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: Природа, 2002. 118 с.
16. РД 52.24.635-2002. Методические указания. Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования.
17. Методические рекомендации «Комплексная гигиеническая оценка степени напряженности медико-экологической ситуации различных территорий, обусловленной загрязнением токсикантами среды обитания населения». Утверждены Департаментом ГСЭН Минздрава России № 2510/5716-97-32 от 30.07.1997 г.
18. Программа «Чистая вода». Версия 2.0: Руководство пользователя / Научно-производственное объединение ПОТОК. СПб. 39 с.
19. Измалков В.И. Методология системного анализа источников радиационной опасности, прогнозирования и оценки радиационной обстановки и уровней риска. СПб.: Санкт-Петербургский НИЦЭБ, 1994. 78 с.
20. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб.
21. ГОСТ Р 51593-2000. Вода питьевая. Отбор проб.

УДК 502.51(282.02):556.3(043.2)

Оценка экологического риска от использования ключевых вод

¹ Светлана Александровна Буймова

² Андрей Германович Бубнов

¹ Ивановский государственный химико-технологический университет, Россия
153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7
Кандидат химических наук, доцент
E-mail: Vyumova@mail.ru

² Ивановский государственный химико-технологический университет, Россия
153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7
Доктор химических наук, профессор
E-mail: bub@isuct.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность применения различных методик, применяемых в РФ, для расчёта величин экологических рисков, характерных для родниковых вод. Выявлены критериальные загрязнители родниковой воды в исследованном регионе.

Ключевые слова: качество воды; родник (ключ); экологический риск; методы биотестирования.