

С.А. Буймова¹, А.Г. Бубнов², М.В. Богомолов², Ю.Н. Моисеев²
(¹Ивановский государственный химико-технологический университет,
²Ивановский институт ГПС МЧС России; e-mail: Vyumova@yandex.ru)

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ УПОТРЕБЛЕНИЯ РОДНИКОВЫХ ВОД

Проведён анализ проблем качества родниковой воды как одного из возможных резервных источников для питья в случае возникновения аварийных ситуаций, результатов применения различных методик, расчёта риска заболеваемости населения от перорального употребления этой воды. Приведены рациональные меры защиты родников.

Ключевые слова: качество воды, родник, риск заболеваемости населения, биотестирование.

S.A. Vyumova, A.G. Bubnov, M.V. Bogomolov, Y.N. Moiseev SUBSTANTIATION OF PRIME MEASURES OF SAFETY FROM THE USE OF SPRING WATER

Analyzed the problem of the quality of spring water as one of the possible reserve sources for drinking in the case of emergency situations, the results of the use of various techniques, the calculation of the risk of morbidity of the population of the oral use of this water. Are the rational measures of protection of springs.

Key words: water quality, a spring, a risk of morbidity of the population, biotesting.

Одной из основных жизненно необходимых потребностей человека является употребление воды. 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.

В большинстве регионов России основным источником питьевой воды является водопроводная вода из поверхностных водозаборов, которая по некоторым своим санитарно-химическим показателям не всегда соответствует нормативным требованиям [1, 2]. Поэтому всё большая часть населения предпочитает употреблять воду из подземных источников (скважин, колодцев и родников), в большинстве случаев справедливо считая её более защищённой от загрязнений с поверхности. Кроме того, указанная вода, в случае возникновения различного рода опасных событий, может являться источником резервного питьевого водоснабжения (например, при лесных пожарах).

В последние годы грунтовые воды привлекают к себе повышенный интерес, так как их запасы намного превосходят запасы поверхностных вод, которые всегда подвержены всевозможным загрязнениям. Однако в результате интенсивного антропогенного воздействия на все компоненты *окружающей среды (ОС)* химический состав не только поверхностных, но и родниковых вод заметно изменился, из-за чего при их пероральном употреблении возможно возникновение различных заболеваний [1].

Важно отметить, что на сегодняшний день в России отсутствует методология интегральной оценки качества родниковых вод, предназначенных для питьевых целей. Авторами ранее [3] было показано, что интегральные рас-

чётные 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. На основе потенциальной опасности воды по [4], можно произвести оценку риска возникновения различного рода заболеваний у населения от перорального употребления родниковой воды [1]. Вместе с тем, использование различных методов оценки вероятности заболеваний (риска) может приводить к различным практическим выводам. Результатом последних может оказаться разный приоритет для мероприятий, требующих различных средств (материальных, технических, организационных и др.).

Вместе с тем, одним из интегральных экспресс-методов оценки качества воды является метод биотестового анализа с применением различных тест-организмов. Причём известно, что результаты биотестирования 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 питьевой воды. Однако с помощью данного метода можно определить только наличие или отсутствие острой или хронической токсичности воды, но нельзя с точностью идентифицировать поллютанты, присутствующие в воде.

Поэтому авторы не только оценили риски возникновения негативных эффектов и заболеваемости населения от употребления в питьевых целях родниковых вод в Ивановской области с использованием различных методик [4-7 и РД 52.44.2-94], применяемых в России, но и сравнили эти методы с учётом результатов биотестирования, полученных в период с марта по апрель 2007, 2008 гг.

Рекомендуемый в [4] метод определения *потенциальной опасности (ПО)* употребления воды позволяет установить взаимосвязь качества питьевой воды с неонкологической заболеваемостью населения (с точки зрения возможности развития таких заболеваний, как язва желудка и двенадцатиперстной кишки, хронический гастрит, холецистит, ишемическая болезнь сердца, гипертоническая болезнь). Авторами проведены дополнительные расчёты рисков канцерогенеза от перорального употребления родниковой воды в соответствии с утверждённой Минздравом России методикой [8], реализованной в компьютерной программе "Чистая вода" (Версия 2.0). С помощью данной программы, разработанной научно-производственным объединением "ПОТОК" г. Санкт-Петербург [9], была выполнена сравнительная оценка потенциального риска от употребления родниковой воды из источников, расположенных в городах и сельской местности Ивановской области, а также водопроводной воды г. Иваново.

Для исследований отбирались пробы воды из различных родников, расположенных в районе водосбора реки Волги на территории Ивановской области (пробы отбирались в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 и ГОСТ Р 51593-2000). Места отбора проб приведены на рис. 1.

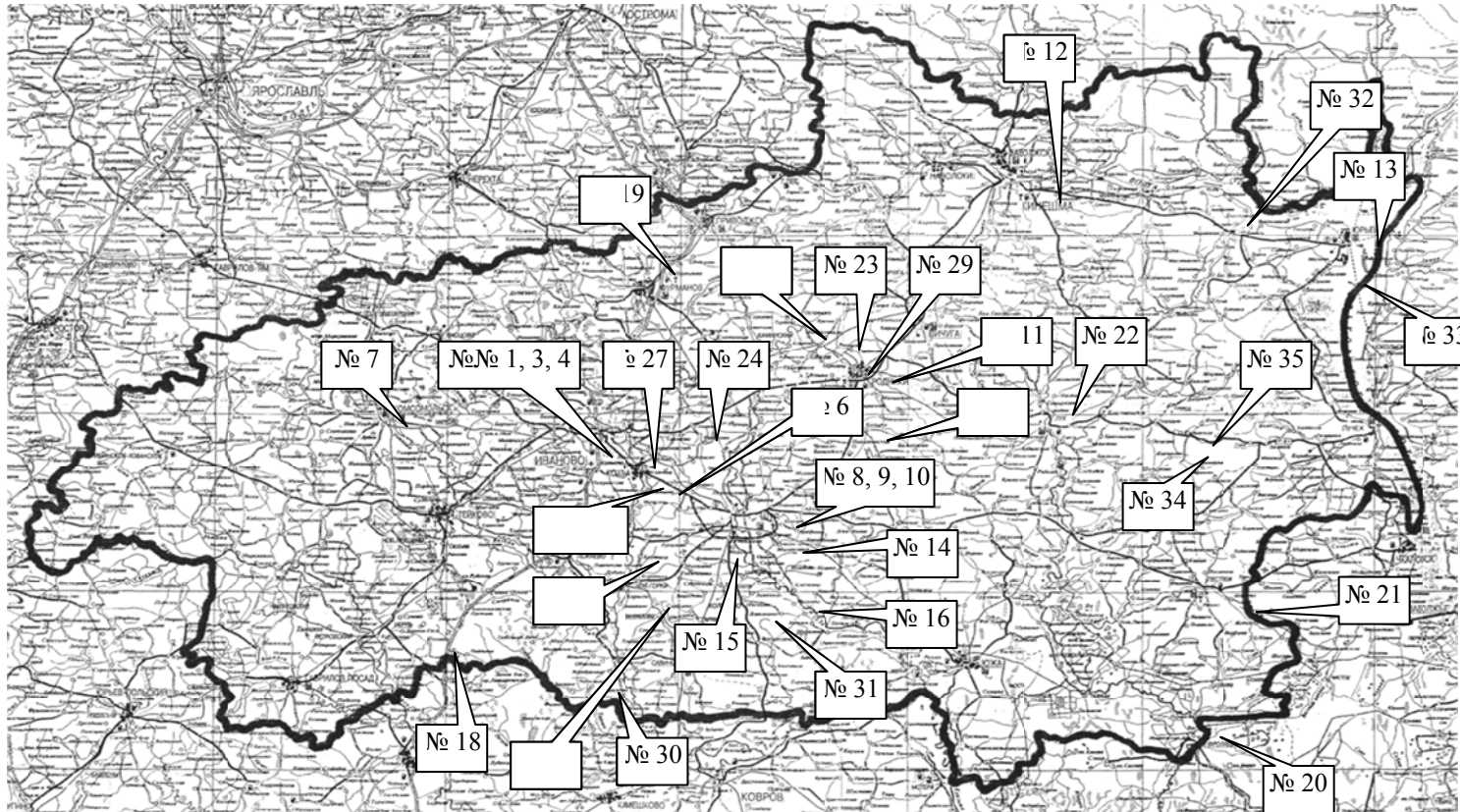


Рис. 1. Карта Ивановской области с указанием мест отбора проб родниковых вод

Города Ивановской области

- 1 – г. Иваново;
- 2 – г. Кохма, ул. Советская;
- 3 – г. Иваново, парк отдыха "Харинка";
- 4 – г. Иваново, район Камвольного комбината;
- 5 – г. Кохма, около текстильной фабрики;
- 6 – г. Кохма (п. Богданиха, Ивановский район);
- 7 – г. Комсомольск;
- 8 – г. Шуя, мест. Лихушино;
- 9 – г. Шуя, Воскресенский собор;
- 10 – г. Шуя, около Посыленского моста;
- 11 – г. Родник;

12 – г. Кинешма;

13 – г. Юрьевец;

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);
- 19 – с. Михайловское (Фурмановский район);
- 20 – д. Пурешка (Пестяковский район);
- 21 – Сельская местность (Пестяковский район);
- 22 – д. Тимирязево (Лухский район);

- 23 – д. Горкино (Родниковский район);
- 24 – с. Сидоровское (Ивановский район);
- 25 – д. Афанасово (Лежневский 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).

Одновременно с пробами родниковых вод анализировалась водопроводная вода г. Иваново. Из родников, находящихся в г. Иваново и г. Кохма (источники №№ 1-3), пробы воды отбирались ежемесячно в течение 6 лет (2003-2008 гг.). Пробы родниковой воды из остальных источников (№№ 4-35) 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 содержания веществ в питьевой воде) [3]. Оказалось, что максимальная величина ПО характерна для родника № 2, а минимальная – № 3 (рис. 2).

При этом для воды из родников №№ 2 и 3 максимальная вероятность различных заболеваний наблюдалась в 2006 г., а для родника № 1 – эта вероятность колебалась от 35 % до 55 % на протяжении всего времени исследования (рис. 2).

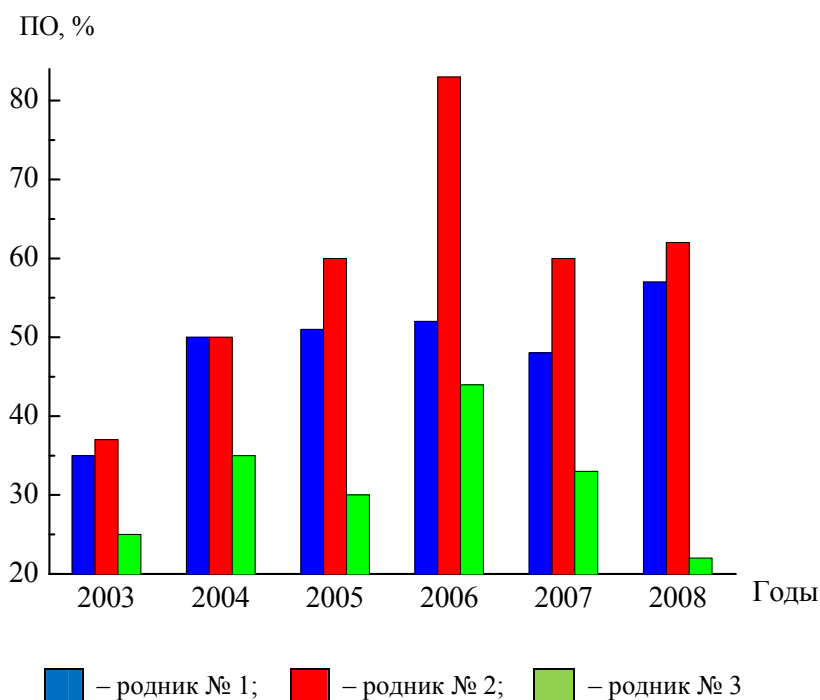


Рис. 2. Динамика усредненных значений потенциальной опасности воды для родников, расположенных на территории г. Иваново и г. Кохма (Ивановская область, период наблюдений 2005-2008 гг.)

Согласно рис. 3 и 4 для воды из источников №№ 2 и 3, расположенных на урбанизированной территории, в большинстве случаев наблюдалась тенденция увеличения рисков заболеваемости населения (риска развития неблагоприятных органолептических эффектов, хронической интоксикации и общетоксического) от перорального употребления родниковых вод в течение 2003-2008 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), риск канцерогенных эффектов – "неприемлемый" (рис. 3в).

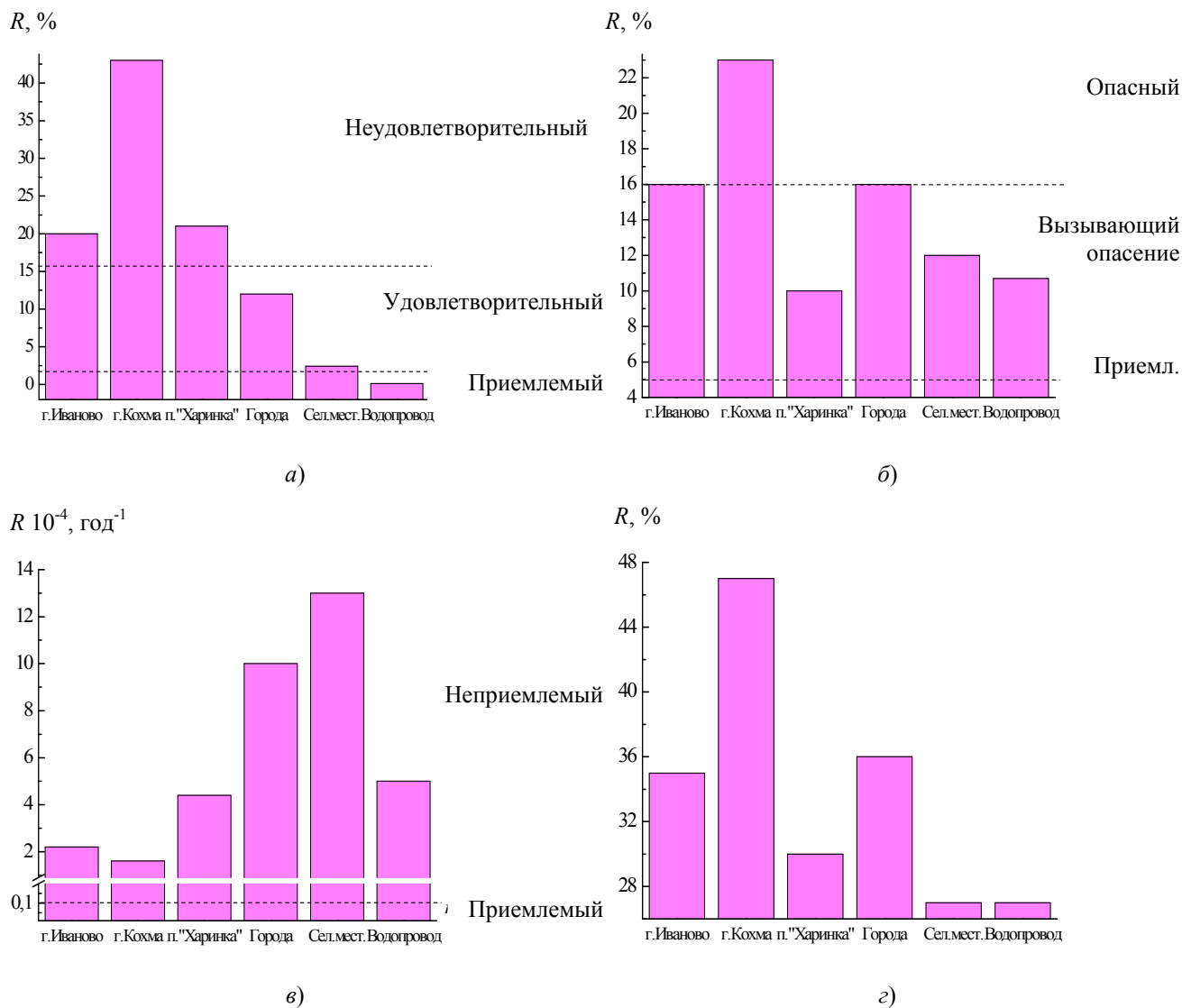


Рис. 3. Риск развития неблагоприятных органолептических эффектов (немедленного действия) – (а); хронической интоксикации – (б), канцерогенных эффектов (в), общетоксический (суммарный) риск возникновения заболеваний – (г) у населения от употребления воды из родников, расположенных на территории Ивановской области (период наблюдений 2003 – 2008 гг.).
 Номера источников: г. Иваново (родник № 1); г. Кохма (родник № 2); родник № 3; города (родники №№ 1 – 13); сельская местность (родники №№ 14 – 35)

Полученные величины ПО показали, что в настоящее время водопроводная вода г. Иваново, даже с учётом наличия в водоподготовке этапов хлорирования, при которых в воде образуются опасные хлорсодержащие органические соединения (хлороформ, дихлорэтан, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен, тетрахлорэтан, дихлорфенол), является наименее опасной при её употреблении, по сравнению с родниковой (рис. 4).

Найденные вероятности проявления негативных эффектов от перорального употребления исследованных родниковых вод Ивановской области очень высоки и являются неприемлемыми, так как превышают минимально допустимую вероятность в 3-15 раз (известно, что приемлемый риск лежит в интервале от 10^{-4} до 10^{-6} негативных эффектов в год) [10].

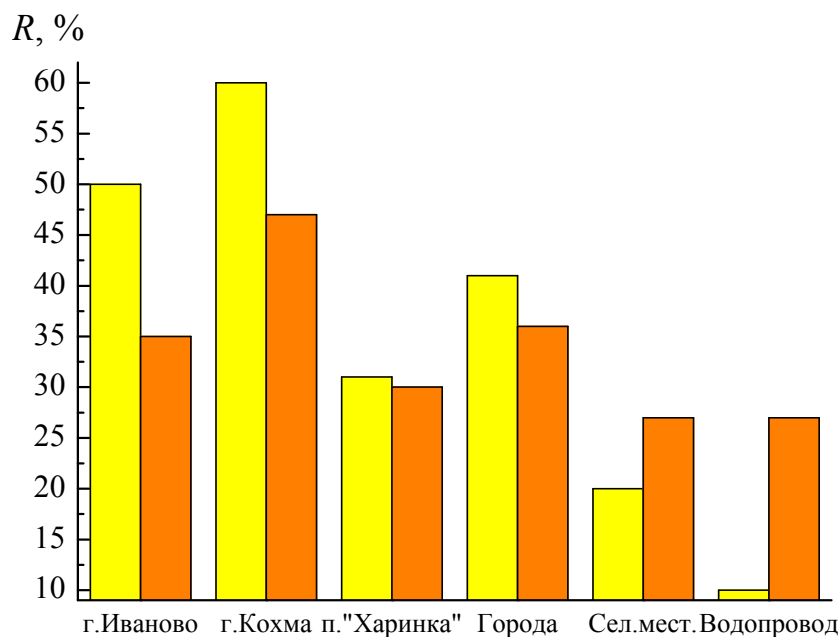


Рис. 4. Риск возникновения заболеваний у населения от употребления воды из родников, расположенных на территории Ивановской области (период наблюдений 2003 – 2008 гг.) на основе:

- рекомендованной методики эколого-гигиенической оценки интегрального качества воды (величина потенциальной опасности) [8];
- на основе утверждённых методических рекомендаций [17].

На сегодняшний день в России не существует внесённого в Госреестр метода, позволяющего категорировать качество подземных вод на основании биотестового анализа, ввиду этого, ниже приведена оценка состояния исследуемых вод (родниковой и водопроводной) по классификации, применяемой для поверхностных водных объектов (табл. 1).

Таблица 1

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

Показатель	Источник питьевой воды				
	Водопроводная вода (г. Иваново)	Родник № 2 (г. Кохма, ул. Советская)	Родник № 3 (г. Иваново, парк отдыха "Харинка")	Родник № 1 (г. Иваново, пер. Челышева)	Водопроводная вода после фильтрации и кипячения
% гибели в течение 96 ч экспозиции	60	40	30	30	10
Класс состояния	кризис	кризис	риск	риск	норма
Степень загрязнения	высокая	высокая	повышенная	повышенная	низкая

Критерием ранжирования является гибель тест-организмов, поэтому для классификации исследованных вод были использованы результаты биотестирования только на дафниях, поскольку гибель пресноводных аквариумных рыб группы составила 0 %, а в ходе эксперимента изменялись лишь их поведенческие показатели (движение, реакция на внешний раздражитель – сачок, нахождение в аквариуме и питание).

В частности, было получено, что водопроводную воду г. Иваново и родниковую воду из источника № 2 можно отнести к воде с высокой степени загрязнения (кризисная территория), воду из родников №№ 1 и 3 – с повышенной степенью загрязнения (территория риска), а водопроводную воду после предварительного фильтрования и кипячения – с низкой степени загрязнения (территория экологической нормы) – см. табл. 1.

Результаты расчётов показывают, что основная доля рисков заболеваемости населения от употребления воды из родников №№ 1-3 приходилась на следующие загрязняющие вещества (в порядке убывания):

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

Как уже указывалось, методика [8] позволяет оценить риск развития канцерогенных эффектов. Результаты анализа показали, что вероятность возникновения онкологических заболеваний от перорального употребления воды из родников №№ 1-3 имела тенденцию к снижению на протяжении всего периода исследований (2003-2008 гг.). Однако полученную величину риска следует отнести к "неприемлемому" уровню. Основная доля канцерогенного риска приходилась на следующие показатели качества (в порядке уменьшения): $As_{\text{общ}} \rightarrow Cr_{\text{общ}} \rightarrow Pb^{2+}$ (хотя их содержание и не превышало ПДК_{пит}).

Проведены расчёты вероятности заболевания населения от употребления родниковой воды из источников, расположенных в городах и сельской местности Ивановской области, а также городского водопровода (г. Иваново) – см. рис. 3. Их анализ показывает, что риск развития неблагоприятных органолептических эффектов (немедленного действия) и общетоксический риск распределялись следующим образом (в порядке убывания): г. Кохма → г. Иваново, парк "Харинка", города Ивановской области → сельская местность → водопровод г. Иваново, а риск развития хронической интоксикации – г. Кохма → г. Иваново, города Ивановской области → сельская местность → водопровод г. Иваново, парк "Харинка". При этом уровень риска немедленного действия от употребления родниковой воды из источников, находящихся в городах Иваново и Кохма (№№ 1-3), относится к "неудовлетворительному", городах и сельской местности Ивановской области – "удовлетворительному", а водопроводной воды – "приемлемому" (рис. 3а). Отметим, что риск развития хронической интоксикации характеризуется как "вызывающий опасение" для всех типов рассматриваемых источников питьевого водоснабжения, кроме родника № 2 (г. Кохма), который можно оценить как "опасный" (рис. 3б).

Основная доля рисков заболеваемости населения от употребления воды из всех исследованных родников (№№ 1-35) приходится на следующие загрязняющие вещества (в порядке убывания):

- органолептические эффекты (немедленного действия): $Mn_{общ} \rightarrow Fe_{общ}$;
- хроническая интоксикация: $Cd^{2+} \rightarrow NO_3^- \rightarrow Pb^{2+} \rightarrow NH_4^+ \rightarrow Na^+ \rightarrow Ni_{общ} \rightarrow As_{общ} \rightarrow Cr_{общ}$;
- 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 риска развития канцерогенных эффектов распределялась в следующей последовательности (в порядке уменьшения): сельская местность \rightarrow города \rightarrow парк "Харинка", водопровод г. Иваново \rightarrow г. Иваново \rightarrow г. Кохма, при этом уровень риска можно характеризовать как "неприемлемый", а основная доля риска приходилась на следующие показатели качества (в порядке убывания): $As_{общ} \rightarrow Cr_{общ} \rightarrow Cd^{2+} \rightarrow Pb^{2+}$ (хотя, в большинстве случаев, их содержание не превышало ПДК_{пит}).

Таким образом, можно выделить критериальные загрязнители, рекомендуемые для дальнейшего контроля, анализа и оценки уровня качества родниковых вод, используемых в питьевых целях, а также выбора метода подготовки и очистки воды (по крайней мере, на территории Ивановской области). Результаты расчётов показали, что наибольшая доля ПО [4] и РИСКА [8] приходилась на следующие показатели качества (табл. 2).

Таблица 2

Приоритетные ЗВ, выбранные на основании расчётов величин ПО и РИСКА заболеваемости населения

Метод оценки качества питьевой воды	Показатели качества*																
	Обобщённые показатели			Неорганические вещества				Металлы									Бактерии олог.
	XПК _{КМпО4}	жесткость	СПАВ	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Cr _{общ}	Mn _{общ}	Fe _{общ}	Ni _{общ}	As _{общ}	ОМЧ
ПО	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
РИСК	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-

Серым цветом отмечены те показатели качества, на которые приходилась наибольшая доля ПО и РИСКА заболеваемости населения от перорального употребления родниковых вод.

Причём оказалось, что по величине общетоксического (суммарного) риска вода из городской системы водопровода примерно в 1,2 раза "лучше", чем родниковая, по величине риска развития хронической интоксикации – в 1,3 раза, риска возникновения канцерогенных эффектов – в 2,3 раза, а риска развития неблагоприятных органолептических эффектов (немедленного действия) – в 70 раз (рис. 3).

При этом по величине общетоксического риска источники питьевого водоснабжения располагаются в следующей последовательности (в порядке убывания, рис. 4):

г. Кохма (47 %) → г. Иваново, города Ивановской области (35 и 36 % соответственно) → парк "Харинка" (30 %) → сельская местность, водопровод (по 27 %).

По величине ПО источники можно расположить следующим образом (рис. 4):

г. Кохма (57 %) → г. Иваново (47 %) → города Ивановской области (41 %) → парк "Харинка" (33 %) → сельская местность (20 %) → водопровод (10 %).

Следовательно, результаты, полученные в соответствии с методиками [4, 8], идентичны в отношении плохого качества исследуемой питьевой воды (рис. 4). Тем не менее, сравнительная характеристика двух указанных методов оценки качества питьевой воды показала, что для воды из родников, расположенных в городах Ивановской области, величина ПО оказалась значительно выше, по сравнению со значениями рисков, рассчитанными по утверждённой Минздравом России методике. Однако для источников, находящихся в сельской местности, а также системы городского водопровода, наоборот, величины ПО были значительно ниже, чем величины рисков (в 1,4 и 2,7 раза соответственно). Поэтому, можно подтвердить выводы, сделанные ранее о том, что оценка и ранжирование качества родниковой воды только на основе её ПО [4], не может являться комплексной, объективной и полной.

Исходя из полученных данных довольно легко сформулировать первоочередные мероприятия по предупреждению и устранению существующего загрязнения родников. Так, в частности, в качестве мероприятий по предупреждению и устранению негативных факторов, оказывающих влияние на качество родниковых вод Ивановской области, можно предложить следующие:

1. Обработка воды: в домашних условиях можно использовать такие наиболее доступные населению методы как *кипячение* (в течение не более 5 мин) с предварительным отстаиванием воды в течение суток (при повышенной мутности воды) и *фильтрация* (например, с использованием сорбционного фильтра на основе активированного угля).

Следует отметить, что *не существует универсального метода экстренной очистки воды*, так как выбор методов зависит:

1) от исходного содержания, химической формы примесей и взаимного их влияния. Так, выбор технологии очистки воды определяется совокупностью показателей (количеством и соотношением Fe (II) и Fe (III), жесткости, окисляемости и др.);

2) различия в химическом составе подземных вод различной глубины залегания определяют разные состав и последовательность методов и схем водоподготовки;

3) поскольку нет абсолютно идентичных условий формирования состава природных вод (связанных с гидродинамическим режимом, жизнедеятельностью микроорганизмов и т.п.), то и качество воды в каждом вод источнике индивидуально.

Соответственно, *не существует универсальной для всех источников технологии очистки воды.*

2. Устройство и оборудование каптажей родников в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями и нормами. Правильное содержание и эксплуатация родников (по СанПиН 2.1.4.1175-02).

3. Соблюдение зон санитарной охраны (ЗСО) вокруг родников (по СанПиН 2.1.4.1110-02), поскольку основной целью создания и обеспечения режима в ЗСО является санитарная охрана от загрязнения источников питьевой воды, а также территорий, на которых они расположены.

Из полученных результатов можно сделать следующие **выводы**:

- оценка и ранжирование качества питьевой воды (в том числе родниковой) только на основе её потенциальной опасности, рассчитанной на основе эколого-гигиенической оценки интегрального качества воды [4], не может являться комплексной, объективной и полной;

- величины риска, получаемые на основе утверждённых методических рекомендаций, реализованных в компьютерной программе "Чистая вода" [8], можно использовать для прогнозирования и оценки качества родниковых вод, так как [8] позволяет рассчитать вероятность развития различного рода заболеваний, в том числе и онкологических;

- критериальными загрязняющими родниковую воду в Ивановской области, веществами и показателями являются: NO_3^- , Na^+ , Cd^{2+} , Pb^{2+} , $\text{Cr}_{\text{общ}}$, $\text{Mn}_{\text{общ}}$, $\text{Fe}_{\text{общ}}$, $\text{Ni}_{\text{общ}}$.

Литература

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

2. *Скоробогатова Г.А., Калинин А.И.* Осторожно! Водопроводная вода! Её химические загрязнения и способы доочистки в домашних условиях. С.-Пб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2003. 156 с.

3. *Бубнов А.Г., Буймова С.А., Костров В.В., Курпияновская 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.

4. *Методика* эколого-гигиенической оценки интегрального качества воды и риска здоровью населения. Рекомендована Минздравом РФ. Иваново, Санкт-Петербург, 2002.

5. *Временные* методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М.: Госкомгидромет, 1986. 6 с.

6. *Критерии* оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ. М.: ГНТУ, 1992. 58 с.

7. *Пегов С.А.* Верхневолжский региональный план действий по охране окружающей среды. 2-ая ред. / Под ред. Пегова С.А. Кострома, 2001. 220 с.

8. *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.

9. *Программа* "Чистая вода". Версия 2.0: Руководство пользователя. С.-Пб.: Научно-производственное объединение ПОТОК. 39 с.

10. *Измалков В.И.* Методология системного анализа источников радиационной опасности, прогнозирования и оценки радиационной обстановки и уровней риска. С.-Пб.: С.-Пб. НИЦЭБ, 1994. 78 с.