



Научная статья

## ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЕЩЕСТВ, ПОСТУПАЮЩИХ ИЗ БЫТОВЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ В ПИТЬЕВУЮ ВОДУ

В.М. Боев<sup>1</sup>, И.В. Георги<sup>2</sup>, Д.А. Кряжев<sup>1</sup>, Е.А. Кряжева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Оренбургский государственный медицинский университет, Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Советская, 6

<sup>2</sup>Ассоциация производителей и поставщиков сантехники, Россия, 196140, г. Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 56, стр. 4, лит. А

На сегодняшний день особо актуальной является задача по оценке изменения состава и свойств питьевой воды при транспортировке до потребителя. Проведена гигиеническая оценка риска здоровью населения при употреблении питьевой воды с измененным химическим составом, формирующимся под влиянием бытовых смесителей, изготовленных из цинковых сплавов.

Гигиеническая оценка питьевой воды осуществлена на соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Пробы воды выдерживались в новых бытовых смесителях, корпус которых изготовлен из цинкового сплава ЦАМ (семейство цинковых сплавов, легированных алюминием, магнием и медью), при pH 6 и pH 9 в соответствии с ГОСТ 34771-2021 «Арматура санитарно-техническая водоразборная. Методы испытаний». Оценка риска здоровью и популяционного риска проведена при условии перорального и кожного поступления веществ для детского и взрослого населения в соответствии с Р 2.1.10.1920-04 «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания».

Установлено, что в исследуемых пробах воды, подвергнутых выдержке в бытовых смесителях, достоверно повышен уровень металлов, которые входят в состав сплава ЦАМ, а именно: меди, никеля, свинца и цинка, как при значениях pH = 6, так и при значениях pH = 9. Отмечено достоверное увеличение органолептических показателей: цветности – в 2–2,3 раза, мутности – в 2,3–5,0 раза. Показан неприемлемый уровень канцерогенного риска для взрослого и детского населения при употреблении питьевой воды с измененными свойствами. Установлено, что индекс опасности, рассчитанный для системы крови, не соответствует гигиеническим требованиям, а для ЦНС, печени, гормональной и репродуктивной систем – статистически значимо выше при употреблении питьевой воды с измененными химическими свойствами. Величина популяционного канцерогенного риска для населения Российской Федерации, рассчитанная по максимальной вероятной экспозиции при употреблении питьевой воды с измененными химическими свойствами под действием бытовых смесителей, составляет порядка 131 тысячи случаев. Проведенное исследование показывает необходимость разработки профилактических мероприятий с четко спланированной системой мониторинга и контроля качества и режима эксплуатации бытовых смесителей.

**Ключевые слова:** питьевая вода, бытовые смесители, тяжелые металлы, риск здоровью населения.

Обеспечение населения качественной питьевой водой является основной задачей государства. В рамках реализации национального проекта «Экология»,

направленного на оптимизацию обращения с отходами, снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха, повышение качества питьевой воды, опре-

© Боев В.М., Георги И.В., Кряжев Д.А., Кряжева Е.А., 2021

**Боев Виктор Михайлович** – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, заведующий кафедрой общей и коммунальной гигиены (e-mail: k\_com.gig@orgma.ru; тел.: 8 (353) 250-06-06; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3684-1149>).

**Георги Игорь Викторович** – председатель (e-mail: igor.georgi@appsan.ru; тел.: 8 (812) 539-58-45; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0857-8590>).

**Кряжев Дмитрий Александрович** – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей и коммунальной гигиены (e-mail: kryazhev.87@inbox.ru; тел.: 8 (922) 839-15-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4592-3848>).

**Кряжева Елена Александровна** – кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры общей и коммунальной гигиены (e-mail: kryazheva89@inbox.ru; тел.: 8 (353) 250-06-06; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3527-2068>).

делены приоритетные задачи, включающие оценку риска для здоровья населения [1–4]. Качество питьевой воды должно соответствовать гигиеническим нормативам в каждой точке водопроводной сети [4, 5]. Существует множество факторов, способных повлиять на состав питьевой воды по пути к потребителю [6, 7]. Основным фактором являются стареющие подземные коммуникации водопроводной сети, что создает как химическую, так и биологическую угрозу здоровью населения [8–11]. Кроме того, на состав питьевой воды влияет оборудование, располагающееся непосредственно в квартире потребителя, водоподводящие шланги, некачественные фильтры и бытовые смесители [6, 12]. Влияние бытовых смесителей на состояние питьевой воды в первую очередь обусловлено химическим составом сплава, из которого изготовлен смеситель, а также его инертностью при действии естественных компонентов питьевой воды при различных температурах и условиях эксплуатации [9]. При этом, как и в водопроводных сетях, в смесителях могут протекать аэробные и анаэробные процессы коррозии под действием железобактерий, кислорода и других активных соединений в питьевой воде, что способствует не только разрушению смесителя, но и загрязнению питьевой воды [5, 13, 14]. Вместе с тем изменяются как органолептические, так и химические показатели питьевой воды. Продолжительное употребление питьевой воды с измененными химическими свойствами приводит к нарушению обменных процессов в организме, активации перекисного окисления, а также формированию экологически обусловленных и экологически зависимых заболеваний [15–19]. На сегодняшний день в научной литературе широко освещены механизмы и последствия загрязнения питьевой воды при транспортировке ее по водопроводной сети, при этом явно недостаточно исследований, отражающих изменения качества питьевой воды в результате влияния бытовых смесителей. Кроме того, особую актуальность проблемы подчеркивает введение нового межгосударственного стандарта ГОСТ 34771-2021 «Арматура санитарно-техническая водоразборная. Методы испытаний»<sup>1</sup>, где регламентированы методы испытаний для водоразборной арматуры, которые ранее не использовались при получении разрешительной документации

на продукцию. В связи с этим особую актуальность приобретает задача по анализу реальной экспозиции веществ, поступающих из бытовых смесителей, изготовленных из цинкового сплава, в питьевую воду, с последующей оценкой канцерогенного и неканцерогенного риска здоровью населения [20, 21].

**Цель исследования** – провести гигиеническую оценку риска здоровью населения при употреблении питьевой воды с измененным химическим составом, формирующимся под влиянием бытовых смесителей, изготовленных из цинковых сплавов.

**Материалы и методы.** Гигиеническая оценка питьевой воды проведена на соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (от 28.01.2021)<sup>2</sup>. Испытание образцов проведено в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 34771-2021 «Арматура санитарно-техническая водоразборная. Методы испытаний». Данная методика предназначена непосредственно для испытания данного типа изделий с учетом их конструктивных особенностей и условий эксплуатации. Отбор проб воды осуществлен в квартире у потребителя, проживающего в Адмиралтейском районе г. Санкт-Петербурга, в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Общие требования к отбору проб воды»<sup>3</sup>. Для исследования использовалась питьевая вода системы централизованного холодного водоснабжения. Вода для тестирования (образец и контроль) подвергалась предварительной подготовке только в целях корректировки показателя pH до уровня 6 и 9 (крайние допустимые значения согласно СанПиН 1.2.3685-21). Подготовка происходила следующим образом: 1) подготовка испытательной среды № 1 – питьевая вода (pH6): в питьевую воду добавляли раствор серной кислоты 0,1N до значения pH = 6,0, контролируя результат pH-метром; 2) подготовка испытательной среды № 2 – питьевая вода (pH9): в питьевую воду добавляли раствор натрия гидрокарбоната 1N до значения pH = 8,43, контролируя результат pH-метром. После чего добавляли раствор натрия гидроксида 1N до pH = 9,0 (подробная схема проведения исследования описана в пункте 14.3 ГОСТ 34771-2021 (дата введения 01.06.2022)). Таким образом, перед проведением испытания контрольные и опытные

<sup>1</sup> ГОСТ 34771-2021. Арматура санитарно-техническая водоразборная. Методы испытаний: принят Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии 16 сентября 2021 г. (вступает в силу с 1 июня 2022 г.) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/572732675> (дата обращения: 07.07.2021).

<sup>2</sup> СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 07.07.2021).

<sup>3</sup> ГОСТ 31861-2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб воды: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 15 ноября 2012 г. № 42), введен в действие с 1 января 2014 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097520> (дата обращения: 07.07.2021).

образцы № 1 и 2 по всем изученным показателям (цветность, мутность, водородный показатель, железо, марганец, медь, никель, цинк, свинец, алюминий, нитраты) соответствовали гигиеническим требованиям. Доведение до крайних значений pH проводилось как контрольных, так и испытательных образцов. Пробы воды, доведенные до крайних значений pH, выдерживались в новых бытовых смесителях, корпус которых изготовлен из цинкового сплава ЦАМ (семейство цинковых сплавов, легированных алюминием, магнием и медью). Вода из системы холодного водоснабжения в смесителях выдерживалась от 16 до 64 ч холодного водоснабжения: 16 ч – это примерное время простоя смесителя между использованиями в бытовых условиях в будние дни. В течение этого времени вода находится в корпусе смесителя, контактируя с внутренними поверхностями, из которых могут мигрировать различные примеси; 64 ч – это время простоя смесителя между использованиями, когда смеситель не используется на выходных (ГОСТ 34771-2021, дата введения 01.06.2022), при этом на протяжении всего времени испытания поддерживалась необходимая температура. Для исследования был взят объем воды, заполняющий смеситель, который составляет 250–300 мл. Всего проанализировано 90 проб питьевой воды, из которых 54 опытных (по 27 проб при крайних значениях pH) и 36 контрольных (по 18 проб при крайних значениях pH).

Оценка риска здоровью проведена при условии перорального и кожного поступления веществ для детского и взрослого населения в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания»<sup>4</sup>. Расчет доз химических

веществ при пероральном и перкутанном воздействии проводился с использованием рекомендуемых стандартных значений факторов экспозиции (Приложение 1 Р 2.1.10.1920-04). При расчете доз использовалось среднее арифметическое значение максимальных концентраций веществ, полученных при выдерживании питьевой воды в смесителях 16 ч (50 % проб) и 64 ч (50 % проб). Сравнительная гигиеническая оценка популяционного канцерогенного риска проведена по максимальной экспозиции исследуемых веществ в питьевой воде для населения г. Оренбурга, Санкт-Петербурга, Москвы и Российской Федерации в целом. В работе определена верхняя граница возможного популяционного канцерогенного риска, которая рассчитывалась как сумма популяционных рисков от всех канцерогенных веществ.

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием программы Statistica 10.0. Изученные количественные признаки соответствовали нормальному распределению (критерий «хи-квадрат»), в связи с чем описание полученных количественных признаков проводили в виде среднего ( $M$ ) и стандартной ошибки среднего ( $m$ ) с оценкой статистической значимости различий независимых групп по параметрическому  $t$ -критерию Стьюдента.

Различия между показателями считали статистически значимыми при значении  $p \leq 0,05$  и вычисляли с помощью Fisher's exact test.

**Результаты и их обсуждение.** Гигиеническая оценка качества питьевой воды установила достоверное повышение цветности в 2–2,3 раза и мутности в 2,3–5,0 раза в опытных образцах. Изменение органолептических показателей, в особенности мутности, связано с увеличением в исследуемых образцах концентраций металлов (табл. 1).

Таблица 1

Концентрации веществ в питьевой воде ( $M \pm m$ , доли ПДК)

| Параметр              | Образец             | Контроль 1    | Образец             | Контроль 2     |
|-----------------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------|
|                       | pH6                 |               | pH9                 |                |
| Цветность             | <b>1,91 ± 0,06*</b> | 0,88 ± 0,06   | <b>1,53 ± 0,04*</b> | 0,98 ± 0,02    |
| Мутность              | <b>2,42 ± 0,09*</b> | 0,47 ± 0,07   | <b>1,33 ± 0,07*</b> | 0,58 ± 0,03    |
| Водородный показатель | 0,79 ± 0,02         | 0,70 ± 0,07   | 0,96 ± 0,07         | 0,87 ± 0,09    |
| Железо                | 0,77 ± 0,04         | 0,75 ± 0,06   | 0,75 ± 0,01         | 0,60 ± 0,04    |
| Марганец              | 0,24 ± 0,01         | 0,19 ± 0,001  | 0,15 ± 0,01         | 0,15 ± 0,01    |
| Медь                  | <b>0,15 ± 0,02*</b> | 0,005 ± 0,001 | <b>0,16 ± 0,01*</b> | 0,002 ± 0,0001 |
| Никель                | <b>0,94 ± 0,07*</b> | 0,40 ± 0,001  | <b>3,54 ± 0,12*</b> | 0,64 ± 0,01    |
| Цинк                  | <b>1,78 ± 0,09*</b> | 0,01 ± 0,001  | <b>0,51 ± 0,06*</b> | 0,004 ± 0,0001 |
| Свинец                | <b>1,93 ± 0,03*</b> | 0,29 ± 0,01   | <b>1,65 ± 0,11*</b> | 0,27 ± 0,03    |
| Алюминий              | 0,28 ± 0,04         | 0,21 ± 0,01   | 0,38 ± 0,07         | 0,19 ± 0,07    |
| Нитраты               | 0,01 ± 0,001        | 0,02 ± 0,001  | 0,02 ± 0,001        | 0,02 ± 0,004   |

Примечание: \* – достоверность различий  $p \leq 0,05$ .

<sup>4</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания / утв. и введено в действие Первым заместителем Министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г. [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 10.07.2021).

Установлено, что в исследуемых пробах воды, подвергнутых выдержке в бытовых смесителях, достоверно повышен уровень металлов, которые входят в состав сплава ЦАМ, а именно меди, никеля, свинца и цинка, как при значениях pH6, так и при значениях pH9. Установлено статистически значимое увеличение в обоих образцах (pH6 и pH9) концентрации меди в 30 раз. В образцах отмечается превышение ПДК свинца, концентрация которого в 6,7 раза выше, чем в контрольных пробах. В то же время установлено, что содержание никеля при pH9 возрастает почти в 6 раз, превышая гигиенические нормативы, а при pH6 увеличивается в 2 раза и остаётся в пределах нормы. Установлено, что при низких значениях pH (pH6) цинк интенсивнее загрязняет питьевую воду, в сравнении с pH9, создавая концентрацию, превышающую ПДК.

Суммарный коэффициент загрязнения питьевой воды возрастает в 3–3,5 раза при обоих значениях pH. Стоит отметить, что в опытных образцах увеличивается водородный показатель, что связано с процессами окисления и понижением концентрации кислорода.

Под влиянием бытовых смесителей в воду поступает большое количество тяжелых металлов, относящихся к первому классу опасности (свинец, никель), что приводит к изменению химического состава. По данным многочисленных исследований повышенное содержание свинца в питьевой воде приводит к нарушению метаболических процессов, вызывающему возникновение различных заболеваний эндокринной, иммунной и нервной систем. Кроме того, свинец обладает способностью накапливаться в органах и тканях, а также проникать через плацентарный и гематоэнцефалический барьеры [17, 19]. Свинец негативно влияет на репродуктивную систему, нарушая процессы сперматогенеза у мужчин, а также способствуя гормональным нарушениям у женщин, сопровождающимся увеличением частоты самопроизвольных аборт и врожденных пороков у детей. Стоит отметить, что свинец и никель влияют на процессы кроветворения, активируя процессы перекисного окисления, приводящие к повреждению клеточных мембран, а также выступают в качестве стромогенного фактора.

Гигиеническая оценка канцерогенного риска для взрослого населения показала неприемлемый

уровень канцерогенного риска при употреблении питьевой воды с измененными свойствами под воздействием бытовых смесителей. При этом общий канцерогенный риск для перорального пути поступления при pH6 в 4 раза выше, а при pH9 – в 6 раз выше, чем в контрольных образцах. Кроме того, неприемлемый уровень ( $CR_{wo} - 1,13E-04$  при pH6 и  $CR_{wo} - 1,59E-04$  при pH9) общего канцерогенного риска для перорального пути поступления для взрослого населения связан с употреблением питьевой воды из системы централизованного холодного водоснабжения (контроль) (табл. 2).

Вместе с тем для детского населения установлен приемлемый уровень канцерогенного риска при употреблении водопроводной питьевой воды и неприемлемый риск от питьевой воды, выдержанной в смесителях (табл. 2). Таким образом, статистически достоверно доказано, что канцерогенный риск от веществ, содержащихся в питьевой воде, выдержанной в смесителях, не только находится на неприемлемом уровне, но и в разы выше, чем от употребления обычной водопроводной питьевой воды.

Важным является то, что канцерогенный риск как для детей, так и для взрослых при употреблении питьевой воды с измененными химическими свойствами находится в III диапазоне и требует срочного проведения оздоровительных профилактических мероприятий.

При гигиенической оценке неканцерогенного риска установлено, что максимальные индексы опасности как для взрослого, так и для детского населения определяются содержанием в образцах цинка, меди, никеля и свинца. Важным является то, что индексы опасности во всех образцах при разных pH для детского населения в разы выше, чем для взрослого, что в первую очередь связано с более высокой экспозицией веществ относительно массы тела (табл. 3).

Оценка риска негативных эффектов для критических органов и систем показала, что риск для крови не соответствует гигиеническим требованиям при употреблении питьевой воды, выдержанной в бытовых смесителях, как для взрослого, так и для детского населения. Кроме того, установлены статистически значимые отличия по уровню неканцерогенного риска для центральной нервной системы, печени, гормональной и репродуктивной систем (табл. 4).

Таблица 2

Индивидуальный ( $CR$ ) и общий канцерогенные риски ( $CR_{wo}$ ) при пероральном употреблении питьевой воды

| Население | pH  | Проба      | Никель           | Свинец           | $CR_{wo}$        |
|-----------|-----|------------|------------------|------------------|------------------|
| Взрослое  | pH6 | Образец    | <b>1,94E-04*</b> | <b>1,98E-04*</b> | <b>3,93E-04*</b> |
|           |     | Контроль 1 | 8,28E-05         | 3,00E-05         | 1,13E-04         |
|           | pH9 | Образец    | <b>7,28E-04*</b> | <b>1,69E-04*</b> | <b>8,97E-04*</b> |
|           |     | Контроль 2 | 1,31E-04         | 2,78E-05         | 1,59E-04         |
| Детское   | pH6 | Образец    | <b>9,06E-05*</b> | <b>9,26E-05*</b> | <b>1,83E-04*</b> |
|           |     | Контроль 1 | 3,86E-05         | 1,40E-05         | 5,26E-05         |
|           | pH9 | Образец    | <b>3,40E-04*</b> | 7,90E-05         | <b>4,19E-04*</b> |
|           |     | Контроль 2 | 6,13E-05         | 1,30E-05         | 7,42E-05         |

Примечание: \* – достоверность различия  $p \leq 0,05$ .

Таблица 3

Индексы (*HI*) опасности химических веществ в питьевой воде

| Вещество | Взрослое население |            |         |            | Детское население |            |         |            |
|----------|--------------------|------------|---------|------------|-------------------|------------|---------|------------|
|          | pH6                |            | pH9     |            | pH6               |            | pH9     |            |
|          | образец            | контроль 1 | образец | контроль 2 | образец           | контроль 1 | образец | контроль 2 |
| Железо   | 0,022              | 0,021      | 0,021   | 0,017      | 0,05              | 0,05       | 0,05    | 0,04       |
| Марганец | 0,005              | 0,004      | 0,002   | 0,003      | 0,01              | 0,01       | 0,01    | 0,01       |
| Медь     | 0,228*             | 0,007      | 0,240*  | 0,003      | 0,53*             | 0,02       | 0,56*   | 0,01       |
| Никель   | 0,027              | 0,012      | 0,101*  | 0,018      | 0,06              | 0,03       | 0,24*   | 0,04       |
| Цинк     | 0,847*             | 0,004      | 0,243*  | 0,002      | 1,98*             | 0,01       | 0,57*   | 0,00       |
| Свинец   | 0,157*             | 0,024      | 0,134*  | 0,022      | 0,37*             | 0,06       | 0,31*   | 0,05       |
| Алюминий | 0,002              | 0,001      | 0,002   | 0,001      | 0,00              | 0,00       | 0,01    | 0,00       |

Примечание: \* – достоверность различия  $p \leq 0,05$ .

Таблица 4

Индексы опасности (*HI*) с учетом критических органов и систем, поражаемых исследуемыми веществами

| Органы / системы       | Взрослое население |            |         |            | Детское население |            |         |            |
|------------------------|--------------------|------------|---------|------------|-------------------|------------|---------|------------|
|                        | pH6                |            | pH9     |            | pH6               |            | pH9     |            |
|                        | образец            | контроль 1 | образец | контроль 1 | образец           | контроль 2 | образец | контроль 2 |
| ЖКТ                    | 0,25               | 0,02       | 0,34*   | 0,02       | 0,59*             | 0,04       | 0,80*   | 0,05       |
| ЦНС                    | 0,16*              | 0,03       | 0,14    | 0,03       | 0,38*             | 0,07       | 0,32*   | 0,06       |
| Кровь                  | 1,07*              | 0,08       | 0,52*   | 0,08       | 2,50*             | 0,18       | 1,21*   | 0,19       |
| ССС                    | 0,04               | 0,03       | 0,12    | 0,04       | 0,09              | 0,06       | 0,27    | 0,09       |
| Иммунная система       | 0,02               | 0,02       | 0,02    | 0,02       | 0,05              | 0,05       | 0,05    | 0,04       |
| Печень                 | 0,25*              | 0,02       | 0,34*   | 0,02       | 0,59*             | 0,04       | 0,80*   | 0,05       |
| Слизистые              | 0,02               | 0,02       | 0,02    | 0,02       | 0,05              | 0,05       | 0,05    | 0,04       |
| Гормональная система   | 0,16*              | 0,02       | 0,13*   | 0,02       | 0,37*             | 0,06       | 0,31*   | 0,05       |
| Репродуктивная система | 0,16*              | 0,02       | 0,13*   | 0,02       | 0,37*             | 0,06       | 0,31*   | 0,05       |

Примечание: \* – достоверность различия  $p \leq 0,05$ .

Таблица 5

Риск здоровью населения при накожном действии веществ, содержащихся в питьевой воде с измененными свойствами

| Проба      | pH  | Детское население |                        | Взрослое население |                        |
|------------|-----|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
|            |     | <i>HI</i>         | <i>CR<sub>nd</sub></i> | <i>HI</i>          | <i>CR<sub>nd</sub></i> |
| Образец    | pH6 | 5,45E-09          | 2,32E-12               | 3,32E-09           | 7,07E-12               |
| Контроль 1 |     | 1,04E-09          | 6,66E-13               | 6,35E-10           | 2,03E-12               |
| Образец    | pH9 | 6,95E-09          | 5,3E-12                | 4,24E-09           | 1,61E-11               |
| Контроль 2 |     | 1,19E-09          | 9,39E-13               | 7,25E-10           | 2,86E-12               |

При гигиенической оценке индексов опасности химических веществ, содержащихся в питьевой воде, при накожном действии установлен приемлемый уровень риска развития неблагоприятных эффектов для критических органов и систем как для взрослого, так и для детского населения. В то же время вероятность развития канцерогенных эффектов при накожном действии питьевой воды с измененными под действием бытовых смесителей свойствами находится в диапазоне от 6,66E-13 до 5,3E-12 для детского населения и от 2,03E-12 до 1,61E-11 в условиях разной pH, что соответствует приемлемому уровню риска (табл. 5).

Важнейшим этапом оценки риска развития канцерогенных эффектов является оценка популяционного риска для здоровья населения при употреблении питьевой воды с измененными свойствами под влиянием бытовых смесителей.

В настоящей работе проведена сравнительная оценка популяционного канцерогенного риска здо-

ровью при возможном употреблении питьевой воды, выдержанной в бытовых смесителях, изготовленных из цинковых сплавов, для населения городов Оренбург, Санкт-Петербург, Москва и РФ в целом.

Вероятный популяционный канцерогенный риск, рассчитанный для условий максимальной экспозиции, для населения г. Оренбурга численностью 572,82 тысячи человек, составил 225 (при pH6) и 513 (при pH9) дополнительных случаев онкологических заболеваний, для населения г. Санкт-Петербурга (население 5384,34 тысячи человек) 2116 при pH6 и 4829 при pH9 дополнительных случаев онкологических заболеваний. В мегаполисе (г. Москва, численность населения 12 655,1 тысячи человека) популяционный канцерогенный риск может достигать от 4,97 тысячи (при pH6) до 11,35 тысячи (при pH9) дополнительных случаев онкологических заболеваний при различных условиях pH. При условии, что смесителями данной марки пользуется все население Российской Федерации, дополнительное коли-

Таблица 6

Вероятный популяционный канцерогенный риск при употреблении питьевой воды с измененными свойствами под влиянием бытовых смесителей ( $CR_{pop}$ ), число случаев

| Вещество   | pH  | Оренбург | Санкт-Петербург | Москва | Российская Федерация |
|--|-----|----------|-----------------|--------|----------------------|
| Никель   | pH6 | 111      | 1 046           | 2 455  | 28 357               |
|  | pH9 | 417      | 3 920           | 9 213  | 106 413              |
| Свинец   | pH6 | 113      | 1 066           | 2 506  | 289 42               |
|  | pH9 | 97       | 910             | 2 139  | 24 703               |
| Верхняя граница возможного популяционного канцерогенного риска | pH6 | 225      | 2116            | 4 973  | 57 445               |
|  | pH9 | 5148     | 4830            | 11 352 | 131 115              |

чество случаев онкологических заболеваний составит более 131 тысячи случаев (табл. 6).

Оценка риска здоровью подразумевает под собой оценку неопределенности. В настоящем научном исследовании неопределенность связана с оценкой экспозиции, которая включала в себя условный сценарий воздействия веществ. Кроме того, при оценке риска учтены только семь металлов, поступающих в питьевую воду из бытовых смесителей, из которых сделан сплав, с неполным сценарием и маршрутом воздействия. Также стоит учесть, что испытания проводились по ГОСТ 34771-2021 «Арматура санитарно-техническая водоразборная. Методы испытаний», который вступает в действие 1 июня 2022 г., то есть существующие лаборатории не имеют аккредитации по данной методике. Тем не менее сравнительная оценка риска питьевой воды с измененными под влиянием бытовых смесителей свойствами отражает вероятность возникновения неблагоприятных эффектов для органов и систем организма, в том числе вероятность возникновения отдаленных последствий (злокачественные новообразования).

**Выводы.** В результате проведенного исследования установлено, что питьевая вода изменяется при деструкции материалов, используемых для изготовления бытовых смесителей из цинковых сплавов, при этом в питьевую воду поступают тяжелые металлы, обладающие тропностью к органам и системам.

Гигиеническая оценка показала, что в воде с измененными химическими свойствами установлено превышение гигиенических нормативов по никелю, цинку, свинцу и органолептическим показателям (цветность, мутность).

Общий канцерогенный риск для перорального пути поступления веществ с питьевой водой неприемлем как для детского ( $4,19E-04$ ), так и для взрослого населения ( $8,97E-04$ ) и в 10 раз выше, чем в контрольном образце.

С учетом невысокого объема питьевой воды, который подвержен длительной экспозиции в смесителях, неканцерогенный риск для критических органов и систем как при пероральном, так и при накожном воздействии соответствует гигиеническим требованиям, за исключением системы крови ( $HI$  кровь = 2,5 для детского населения,  $HI$  кровь = 1,07 для взрослого населения при pH9), при этом основной вклад обусловлен экспозицией свинца.

Стоит отметить, что расчет риска проводился с учетом только семи металлов, что обуславливает основную неопределенность при оценке риска.

Проведенное исследование показывает необходимость разработки профилактических мероприятий с четко спланированной системой мониторинга и контроля качества и режима эксплуатации бытовых смесителей на территории Российской Федерации.

Перспективы дальнейшей разработки темы связаны с изучением влияния питьевой воды под действием бытовых смесителей, изготовленных из цинковых сплавов, на здоровье беременных, новорожденных и других групп населения с учетом полного маршрута и сценария воздействия при оценке всех химических веществ и соединений в питьевой воде.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Ассоциации производителей и поставщиков сантехники.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Значение национального проекта «Экология» для экологического благополучия российского населения / А.Н. Аверин, В.П. Ляхов, С.А. Евтушенко, Т.А. Нувахов // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. – 2019. – Т. 107, № 4. – С. 131–134.
2. Актуальные проблемы правовой и научно-методической поддержки обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации как стратегической государственной задачи / Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова, Г.Г. Онищенко, И.В. Май // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 5–9. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-5-9
3. Синицына О.О., Жолдакова З.И. Методология регионального нормирования водных факторов окружающей среды // Санитарный врач. – 2011. – № 2. – С. 025–026.
4. Рахманин Ю.А., Розенталь О.М. Совершенствование контроля качества воды для обеспечения предъявляемых к ней санитарно-гигиенических требований // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 203–204. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-203-204
5. Хасанова А.А., Четверкина К.В., Маркович Н.И. Определение приоритетных химических веществ для контроля безопасности воды централизованных систем водоснабжения // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 5. – С. 428–435. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435
6. Изменение показателей химической безвредности питьевой воды Уфы при ее транспортировке потребителям / М.Ю. Вожаева, А.Р. Холова, Е.В. Вагнер, Н.В. Труханова, И.А. Мельницкий, Т.Т. Муллоджанов, Е.А. Кантор // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 4. – С. 396–405. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-396-405
7. Анализ структуры и пространственного распределения потенциальных рисков причинения вреда здоровью при осуществлении хозяйственной деятельности в сфере «Сбор и очистка воды» / С.В. Клейн, Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь, 2018. – С. 154–161.

8. Иванов А.В., Давлетова Н.Х., Тафеева Е.А. Анализ современных представлений о миграции полимерных веществ из упаковки в питьевую воду при хранении и влиянии их на живые организмы // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 2. – С. 25–29.
9. Кряжева Е.А., Боев В.М., Кряжев Д.А. Гигиеническая оценка питьевой воды, потребляемой населением города Оренбурга // Альманах молодой науки. – 2018. – № 3. – С. 3–8.
10. Кузнецов К.С., Белкина А.А., Ядрова А.А. Оценка качества питьевой воды, подаваемой из централизованных систем водоснабжения в г. Москва (Россия) // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 4 (часть 4). – С. 681–685.
11. Лапшин А.П., Игнатова Л.П. Качественный состав питьевой воды на этапах водоподготовки и транспортировки // Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. – № 6. – С. 31–35.
12. Католла В.М. О причине нахождения тяжелых металлов в водопроводной и питьевой воде // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2015. – Т. 92, № 8. – С. 4–8.
13. Клейн С.В., Вековшинина С.А., Сбоев А.С. Приоритетные факторы риска питьевой воды и связанный с этим экономический ущерб // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 10–14. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-10-14
14. Методы оценки комбинированного действия веществ / З.И. Жолдакова, Н.В. Харчевникова, Р.А. Мамонов, О.О. Силицына // Гигиена и санитария. – 2012. – № 2. – С. 86–89.
15. Бузинов Р.В., Мироновская А.В., Унгуриян Т.Н. Качество питьевой воды в Архангельской области и ее влияние на состояние здоровья населения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2011. – Т. 44, № 8. – С. 10–12.
16. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Приморского края / П.Ф. Кику, Л.В. Кислицына, В.Д. Богданова, К.М. Сабирова // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 1. – С. 94–101. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101
17. Зайцева Н.В., Устинова О.Ю., Сбоев А.С. Медико-профилактические технологии управления риском нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов среды обитания // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 17–22. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-17-22
18. Землянова М.А., Федорова Н.Е., Кольдибекова Ю.В. Биохимические маркеры негативных эффектов у детей при воздействии хлорорганических соединений, поступающих с питьевой водой // Здоровье населения и среда обитания: ЗНССО. – 2011. – Т. 222, № 9. – С. 33–37.
19. Зязина Т.В., Васильева М.В. Мониторинг содержания тяжелых металлов в питьевой воде и оценка риска возникновения экпатологий у городского населения // Наука и бизнес: пути развития. – 2014. – Т. 36, № 6. – С. 5–10.
20. Родюкова О.А., Крупин В.Е., Авчинников А.В. Качество питьевой воды и состояние здоровья населения // Санитарный врач. – 2012. – № 10. – С. 045–047.
21. Сбоев А.С., Вековшинина С.А. К проблеме оценки и повышения результативности и эффективности контрольно-надзорных мероприятий при обеспечении населения Пермского края безопасной питьевой водой // Здоровье семьи – 21 век. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 126–145.

*Гигиеническая оценка риска здоровью населения при воздействии веществ, поступающих из бытовых смесителей в питьевую воду / В.М. Боев, И.В. Георги, Д.А. Кряжев, Е.А. Кряжева // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 4. – С. 50–57. DOI: 10.21668/health.risk/2021.4.05*

UDC 613.63/.64-092: 612.017.1]: 614.71: 546.621

DOI: 10.21668/health.risk/2021.4.05.eng



Research article

## HYGIENIC ASSESSMENT OF POPULATION HEALTH RISK UNDER EXPOSURE TO CHEMICALS THAT PENETRATE DRINKING WATER FROM HOUSEHOLD WATER MIXERS

V.M. Boev<sup>1</sup>, I.V. Georgi<sup>2</sup>, D.A. Kryazhev<sup>1</sup>, E.A. Kryazheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Orenburg State Medical University, 6 Sovetskaya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation

<sup>2</sup>Bathroom Manufacturers and Vendors Association, bldg. 4, lit. A, 56 Pulkovskoe shosse, St. Petersburg, 196140, Russian Federation

*At present a truly vital task is to evaluate possible changes in the structure and properties of drinking water occurring in the process of delivering it to end customers.*

*Our research aim was to perform hygienic assessment of health risks caused by consumption of drinking water with changed chemical structure influenced by domestic faucets made from zinc alloys.*

*Hygienic assessment of drinking water was performed to test its conformity with the requirements fixed in the Sanitary Rules and Standards SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements to providing safety and (or) harmlessness of environmental factors for people". Water samples were aged in new household water mixers with their cases made from ZAM zinc alloy (a zinc alloy doped with aluminum, magnesium, and copper) at pH6 and pH9 in accordance with the State*

© Boev V.M., Georgi I.V., Kryazhev D.A., Kryazheva E.A., 2021

**Victor M. Boev** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored scientist of the RF, Honored worker of the higher education in the Russian Federation, Head of the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: k\_com.gig@orgma.ru; tel.: +7 (353) 250-06-06 (ext. 320); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3684-1149>).

**Igor V. Georgi** – Chairman (e-mail: igor.georgi@appsan.ru; tel.: +7 (812) 539-58-45; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0857-8590>).

**Dmitrii A. Kryazhev** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: kryazhev.87@inbox.ru; tel.: +7 (922) 839-15-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4592-3848>).

**Elena A. Kryazheva** – Candidate of Medical Sciences, Senior lecturer at the Common and Communal Hygiene Department (e-mail: kryazheva89@inbox.ru; tel.: +7 (353) 250-06-06 (ext. 320); ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3527-2068>).

*Standard GOST 34771-2021 "Sanitary-technical water mixing and distributing accessories. Testing procedures". Health risks for children and adults and population risks were assessed for situations involving oral and cutaneous introduction according to the Guide R 2.1.10.1920-04 Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals.*

*We established that water samples aged in household water mixers contained authentically elevated concentrations of metals included into ZAM alloy, namely copper, nickel, lead, and zinc, both at pH = 6 and pH = 9. We also detected enhanced organoleptic properties: color grew by 2–2.3 times and turbidity by 2.3–5 times. Carcinogenic risks caused by consuming water with changed properties turned out to be unacceptable both for children and adults. We also established that calculated hazard index for the blood system didn't conform to hygienic requirements; calculated hazard indices for the central nervous system, liver, hormonal and reproductive systems were statistically significantly higher when people consumed drinking water with changed properties. We also calculated population carcinogenic risks for the whole population in the Russian Federation based on the maximum possible exposure to drinking water with changes in its chemical properties due to household water mixers. The total population risks amounted to approximately 131 thousand cases. Our research indicates it is necessary to develop prevention activities with a carefully planned monitoring system and control over quality and use of domestic faucets.*

**Key words:** drinking water, domestic faucets, heavy metals, health risks.

## References

1. Averin A.N., Lyahov V.P., Evtushenko S.A., Nuvahov T.A. Znacheniye natsional'nogo proekta «Ekologiya» dlya ekologicheskogo blagopoluchiya Rossiiskogo naseleniya [The significance of the national project "Ecology" for the ecological well-being of the Russian population]. *Nauka i obrazovanie: hozyaystvo i ekonomika; predprinimatel'stvo; pravo i upravlenie*, 2019, vol. 107, no. 4, pp. 131–134 (in Russian).
2. Zaitseva N.V., Popova A.Yu., Onishchenko G.G., May I.V. Current problems of regulatory and scientific-medical support for assurance of the sanitary and epidemiological welfare of population in the Russian Federation as the strategic government task. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 5–9. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-5-9 (in Russian).
3. Sinitsyna O.O., Zholdakova Z.I. Metodologiya regional'nogo normirovaniya vodnykh faktorov okruzhayushchei sredy [Methodology for regional regulation of water environmental factors]. *Sanitarnyi vrach*, 2011, no. 2, pp. 025–026 (in Russian).
4. Rakhmanin Yu.A., Rosenthal O.M. Improvement of water quality control to guarantee qualifying health and hygiene requirements. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 2, pp. 203–204. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-203-204 (in Russian).
5. Khasanova A.A., Chetverkina K.V., Markovich N.I. Determination of priority chemicals of water from centralized supply systems for monitoring water safety. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 5, pp. 428–435. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435 (in Russian).
6. Vozhdaeva M.Y., Kholova A.R., Vagner E.V., Trukhanova N.V., Melnitskiy I.A., Mullodzhanov T.T., Kantor E.A. Changes in the indicators of chemical safety of drinking water in Ufa during its transportation to consumers. *Gigiena i sanitariya*, 2021, vol. 100, no. 4, pp. 396–405. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-4-396-405 (in Russian).
7. Klein S.V., Zaitseva N.V., May I.V., Kir'yanov D.A. Analiz struktury i prostranstvennogo raspredeleniya potentsial'nykh riskov prichineniya vreda zdorov'yu pri osushchestvlenii khozyaystvennoi deyatel'nosti v sfere «Sbor i ochistka vody» [Analysis of the structure and spatial distribution of potential risks of harm to health due to economic activities performed in the sphere of "Collection and purification of water"]. *Aktual'nye voprosy analiza riska pri obespechenii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya i zashchity prav potrebiteli: materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. In: A.Yu. Popova, N.V. Zaitseva eds. Perm, 2018, pp. 154–161 (in Russian).
8. Ivanov A.V., Davletova N.H., Tafeyeva E.A. Analysis of modern views on the migration of polymeric substances from the packaging into the drinking water during storage and their influence on living organisms. *Gigiena i sanitariya*, 2013, vol. 92, no. 2, pp. 25–29 (in Russian).
9. Kryazheva E.A., Boev V.M., Kryazhev D.A. Gigenicheskaya otsenka pit'evoy vody, potrebyaemoi naseleniem goroda Orenburga [Hygienic assessment of drinking water consumed by population in Orenburg]. *Al'manakh molodoi nauki*, 2018, no. 3, pp. 3–8 (in Russian).
10. Kuznetsov, K.S., Belkina A.A., Yadrova A.A. Otsenka kachestva pit'evoy vody, podavaemoi iz tsentralizovannykh sistem vodosnabzheniya v g. Moskva (Rossiya) [Assessment of the quality of drinking water supplied from centralized water supply systems in Moscow (Russia)]. *Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik*, 2018, no. 4 (part 4), pp. 681–685 (in Russian).
11. Lapshin A.P., Ignat'eva L.P. Qualitative composition of drinking water at the purification and transportation stages. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2016, no. 6, pp. 31–35 (in Russian).
12. Katola V.M. The reason for heavy metals in tap and drinking water. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*, 2015, vol. 92, no. 8, pp. 4–8 (in Russian).
13. Klein S.V., Vekovshinina S.A., Sboev A.S. Priority risk factors of drinking water and the related with it economical loss. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 10–14. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-10-14 (in Russian).
14. Zholdakova Z.I., Kharchevnikova N.V., Mamonov R.A., Sinitsyna O.O. Methods for estimating the combined effect of substances. *Gigiena i sanitariya*, 2012, vol. 91, no. 2, pp. 86–89 (in Russian).
15. Buzinov R.V., Mironovskaya A.V., Unguryanu T.N. Kachestvo pit'evoy vody v Arkhangel'skoi oblasti i ee vliyaniye na sostoyaniye zdorov'ya naseleniya [Drinking water quality in the Arkhangelsk region and its impact on health status of the population]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*, 2011, vol. 44, no. 8, pp. 10–12 (in Russian).
16. Kiku P.F., Kisilitsyna L.V., Bogdanova V.D., Sabirova K.M. Hygienic evaluation of the quality of drinking water and risks for the health of the population of the Primorye territory. *Gigiena i sanitariya*, 2019, vol. 98, no. 1, pp. 94–101. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101 (in Russian).
17. Zaitseva N.V., Ustinova O.Yu., Sboev A.S. Medical and preventive technologies for risk management of health problems associated with exposure to environmental factors. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 17–22. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-17-22 (in Russian).
18. Zemlyanova M.A., Fedorova N.E., Koldibekova Yu.V. Biochemical markers of adverse effects in children exposed to chlororganic compounds through drinking water. *ZhNISO*, 2011, vol. 222, no. 9, pp. 33–37 (in Russian).
19. Zyazina T.V., Vasilyeva M.V. Testing of heavy metals in drinking water and risk assessment of developing ecopathology in urban population. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2014, vol. 36, no. 6, pp. 5–10 (in Russian).
20. Rodyukova O.A., Krutilin V.E., Avchinnikov A.V. Kachestvo pit'evoy vody i sostoyaniye zdorov'ya naseleniya [Drinking water quality and health status of the population]. *Sanitarnyi vrach*, 2012, no. 10, pp. 045–047 (in Russian).
21. Sboev A.S., Vekovshinina S.A. To the problem of the assessment and increase of the effectiveness of control-supervisory arrangements providing Perm region population with clear drinking water. *Zdorov'e sem'i – 21 vek*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 116–135 (in Russian).

*Boev V.M., Georgi I.V., Kryazhev D.A., Kryazheva E.A. Hygienic assessment of population health risk under exposure to chemicals that penetrate drinking water from household water mixers. Health Risk Analysis, 2021, no. 4, pp. 50–57. DOI: 10.21668/health.risk/2021.4.05.eng*

Получена: 20.07.2021

Принята: 01.12.2021

Опубликована: 30.12.2021