

© Федоров В.Н., Зарицкая Е.В., Новикова Ю.А., Сладкова Ю.Н., Метелица Н.Д., 2020
УДК 543.31; 628.1.033

Обоснование выбора методик исследований питьевой воды для целей и задач санитарно-эпидемиологических экспертиз и оценки риска здоровью населения

В.Н. Федоров, Е.В. Зарицкая, Ю.А. Новикова, Ю.Н. Сладкова, Н.Д. Метелица

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора,
2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

Резюме: Введение. Питьевая вода как важнейший фактор среды обитания, оказывающий многообразное влияние на процессы жизнедеятельности человека и его состояние здоровья, часто является предметом прогнозирования вредного воздействия на здоровье населения. В целях установления количественных и/или качественных характеристик вредных эффектов химических веществ, содержащихся в питьевой воде, для здоровья населения проводится интегральная оценка питьевой воды по показателям химической безвредности, включающая определение уровней риска для здоровья. Оценка риска для здоровья человека химического загрязнения питьевой воды основывается на расчете риска эффектов хронического воздействия (канцерогенного и неканцерогенного), который выражает вероятность развития заболевания во времени. В результате практической деятельности органов и учреждений Роспотребнадзора по оценке влияния факторов среды обитания на здоровье населения установлено, что даже при концентрациях химического вещества в питьевой воде, находящихся на уровне нижнего предела обнаружения целого ряда методик, уровни канцерогенного и неканцерогенного риска неприемлемы как для населения, так и для профессиональных групп. Таким образом, результаты лабораторных исследований, полученные в соответствии с рядом методик, невозможно использовать для объективной оценки опасности для здоровья человека. Заключение. Представлены критерии выбора методик количественного химического анализа питьевой воды, результаты исследований в соответствии с которыми могут быть использованы при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы с оценкой риска здоровью населения. Критерии выбора методик сформулированы на основании проведенного анализа нормативно-методических документов и результатов санитарно-гигиенических исследований питьевой воды.

Ключевые слова: питьевая вода, количественный химический анализ, методики выполнения исследований, санитарно-гигиенические исследования, санитарно-эпидемиологическая экспертиза, оценка риска здоровью населения. Для цитирования: Федоров В.Н., Зарицкая Е.В., Новикова Ю.А., Сладкова Ю.Н., Метелица Н.Д. Обоснование выбора методик исследований питьевой воды для целей и задач санитарно-эпидемиологических экспертиз и оценки риска здоровью населения // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 10 (331). С. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-15-21>

Substantiation of Drinking Water Quality Testing Methods of Choice for the Goals and Objectives of Sanitary and Epidemiologic Expert Examination and Health Risk Assessment

V.N. Fedorov, E.V. Zaritskaya, Yu.A. Novikova, Yu.N. Sladkova, N.D. Metelitsa

North-West Public Health Research Center, 4 2nd Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

Summary. Introduction: As the most important environmental factor having multiple effects on human vital activities and health, drinking water often becomes the subject of predicting adverse health effects. With the purpose of establishing quantitative and/or qualitative characteristics of harmful effects of drinking water chemicals for human health, an integral assessment of drinking water quality with subsequent health risk assessment is carried out. It is based on estimating the risk posed by chronic (carcinogenic and non-carcinogenic) exposures that shows probability of developing a disease. Results: Practical activities of departments and institutions of the Federal Service for Surveillance in the Sphere of Consumers Rights and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor) on assessing health effects of environmental factors have demonstrated that, even in concentrations equaling their detection limits in quite a number of test methods, most chemical water pollutants pose unacceptable carcinogenic and non-carcinogenic risks both for the general population and occupational cohorts. Thus, the results of some laboratory methods of testing are inappropriate for an objective human health risk assessment. Conclusions: We describe criteria for selecting methods of the quantitative chemical analysis of drinking water fit for the purposes of sanitary and epidemiologic expert examination combined with a population health risk assessment. The criteria of choice have been elaborated based on the review of regulatory and method documents and results of analytical testing of drinking water quality.

Keywords: drinking water, quantitative chemical analysis, method of choice, sanitary and hygienic studies, sanitary and epidemiological expert examination, health risk assessment.

For citation: Fedorov VN, Zaritskaya EV, Novikova YuA, Sladkova YuN, Metelitsa ND. Substantiation of drinking water quality testing methods of choice for the goals and objectives of sanitary and epidemiologic expert examination and health risk assessment. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; (10(331)):15–21. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-15-21>

Author information: Fedorov V.N., <https://orcid.org/0000-0003-1378-1232>; Zaritskaya E.V., <https://orcid.org/0000-0003-2481-1724>; Novikova Yu.A., <https://orcid.org/0000-0003-4752-2036>; Sladkova Yu.N., <https://orcid.org/0000-0003-1745-2663>; Metelitsa N.D., <https://orcid.org/0000-0003-3479-5844>.

Введение. Питьевая вода как важнейший фактор среды обитания, оказывающий многообразное влияние на процессы жизнедеятельности человека, его работоспособность и состояние здоровья, часто является предметом прогнозирования вредного воздействия на здоровье населения. Именно поэтому водные ресурсы являются центральным элементом Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года¹. Воздействие на здоровье насе-

ления химических веществ, содержащихся в питьевой воде, может проявляться как в виде физиологических сдвигов, так и патологических изменений, способствующих развитию заболеваний. Все чаще качество воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и питьевой воды оценивается не только с точки зрения превышения гигиенических нормативов, но и с позиции оценки риска здоровью населения² [1].

¹ Прогресс в области очистки и использования сточных вод с соблюдением требований безопасности: экспериментальная апробация методологии мониторинга и первоначальные выводы по показателю 6.3.1 ЦУР. Женева: Всемирная организация здравоохранения и ООН-ХАБИТАТ; 2018. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

² Директива Совета Европейского Союза 98/83/ЕС от 3 ноября 1998 г. «О качестве воды, предназначенной для потребления людьми». Доступно по: <https://www.fsvps.ru/fsvps-docs/ru/usefulinf/files/es98-83.pdf>. Ссылка активна на 02 июня 2020 г.

Питьевая вода предназначена для ежедневного неограниченного потребления и должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Согласно действующим документам^{3,4} безвредность питьевой воды по химическому составу определяется соответствием нормативам по:

- обобщенным показателям, содержанию органических и неорганических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение;

- содержанию органических и неорганических веществ, поступающих и образующихся в воде как в процессе ее обработки в системе водоснабжения, так и поступающих в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека.

Риски для здоровья населения могут возникнуть из-за потребления воды, зараженной возбудителями инфекций, загрязненной токсичными химическими и радиоактивными веществами^{2,5,6}. Употребление воды, содержащей органические и неорганические соединения, вещества природного или техногенного происхождения, может привести к острым и хроническим нарушениям здоровья. Острые заболевания, как правило, вызваны употреблением питьевой воды, содержащей значительные концентрации токсичных и вредных для здоровья веществ. Хронические заболевания в большинстве случаев могут возникнуть при длительном употреблении питьевой воды, в которой концентрация вредных веществ невысока^{5,6} [2]. Особого внимания заслуживают вещества, обладающие кумулятивным токсическим действием, которое может проявляться накоплением вещества в организме и образованием депо (материальная кумуляция) либо накоплением (суммацией) эффекта (функциональная кумуляция). Также причиной развития патологических состояний может служить употребление в пищу продуктов, накапливающих ядовитые вещества из водной среды [3]. К системам человека, испытывающим наибольшее токсическое воздействие от химических веществ, содержащихся в питьевой воде, относятся иммунная, пищеварительная, сердечно-сосудистая, эндокринная, нервная системы, кожные и слизистые покровы. Длительное употребление питьевой воды с концентрациями химических веществ, превышающими гигиенические нормативы, ока-

зывает неблагоприятное влияние на здоровье населения в целом и особенно детского [4–6]. Предупреждение вредного воздействия на человека факторов среды обитания – одна из приоритетных задач, решение которой должно основываться на проведении специальных санитарно-эпидемиологических исследований, установлении причинно-следственных связей между состоянием здоровья и средой обитания человека [6, 7].

Главным инструментом гигиенической оценки и прогнозирования вредного воздействия факторов среды обитания является методология оценки риска для здоровья человека [8–11]. Оценка опасности для здоровья человека химического загрязнения питьевой воды основывается на расчете канцерогенного и неканцерогенного риска приоритетных загрязнителей и проводится в соответствии с нормативными документами^{2,5,7,8}.

Цель исследования. Сформулировать и обосновать критерии выбора методик исследований питьевой воды, пригодных для использования при выполнении санитарно-эпидемиологических экспертиз и оценки риска здоровью населения.

Материалы и методы. В ходе исследования были проведены обзор и анализ методов количественного химического анализа питьевой воды, выбор методик выполнения измерений с нижним пределом обнаружения, удовлетворяющим уровню приемлемого риска.

Для проведения лабораторных исследований питьевой воды по санитарно-химическим показателям существует большое количество методов исследований, имеющих разные нижние пределы обнаружения, и разнообразные средства измерений. Однако, как показывает практика, применение многих методик дает результаты, которые невозможно корректно использовать для выполнения оценки риска здоровью населения от употребления питьевой воды. Чаще всего это обусловлено получением неприемлемо высокого риска даже при минимальных количествах вещества [12–14].

Методики количественного химического анализа (далее – МКХА) питьевой воды по санитарно-химическим показателям, результаты которого будут использоваться для проведения санитарно-эпидемиологических экспертиз с оценкой риска для здоровья населения, должны быть стандартизованы и (или) аттестованы аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями. Данные о действующих

³ СанПиН 2.1.4.1074–01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения»

⁴ ГН 2.1.5.1315–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

⁵ Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро (2019). Укрепление надзора за качеством питьевой воды с использованием подходов на основе оценки рисков. Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. Доступно по: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329904>. Ссылка активна на 29 мая 2020 г.

⁶ Руководство ВОЗ Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. [Guidelines for drinking-water quality – 4th ed.]. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2017 г. Доступно по https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/. Ссылка активна на 02 июня 2020 г.

⁷ Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду».

⁸ МР 2.1.4.0032–11 «Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности».

в России методиках выполнения измерений, описанные в межгосударственных стандартах (ГОСТ) и национальных стандартах Российской Федерации (ГОСТ Р), размещены в каталогах национальных и межгосударственных стандартов^{9,10}.

Аттестация методик (методов) измерений осуществляется в соответствии со ст. 5 Федерального закона от 26.06.2008 № 102-ФЗ¹¹ и требованиями ГОСТ Р 8.563-2009¹². Методики (методы) измерений, предназначенные для выполнения прямых измерений, вносятся в эксплуатационную документацию на средства измерений. Подтверждение соответствия этих методик (методов) измерений обязательным метрологическим требованиям к измерениям осуществляется в процессе утверждения типов данных средств измерений. В остальных случаях подтверждение соответствия методик (методов) измерений обязательным метрологическим требованиям к измерениям осуществляется путем аттестации методик (методов) измерений. Сведения об аттестованных методиках (методах) измерений передаются проводящими аттестацию юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (далее – Фонд), который представляет собой организационно упорядоченную совокупность документов и сведений на бумажных носителях и (или) в электронно-цифровой форме в сфере обеспечения единства измерений, справочно-поисковый аппарат и является государственным информационным ресурсом общего пользования. Фонд создан во исполнение Федерального закона от 26.06.2008 № 102-ФЗ и Стратегии обеспечения единства измерений в России до 2015 года. В настоящее время в Фонде содержатся сведения примерно о тысяче физико-химических методах выполнения исследований воды, около 30 % из которых распространяются на питьевую воду^{9,10}.

Результаты исследования. На основании проведенного анализа нормативно-методических документов, протоколов лабораторных исследований питьевой воды были сформулированы критерии выбора методов количественного химического анализа питьевой воды, результаты исследований которого могут быть использованы при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы с оценкой риска для здоровья населения.

Лаборатории, выполняющие исследования питьевой воды, должны быть аккредитованы в установленном порядке в национальной системе аккредитации¹³, применяемые ими средства измерений должны быть внесены в государственный реестр утвержденных типов средств измерений и пройти поверку.

Используемые МКХА должны иметь статус действующего документа и соответствовать основным установленным требованиям (критериям):

1. быть стандартизованы и (или) аттестованы аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями;

2. быть зарегистрированы в национальном реестре в порядке, установленном национальным законодательством;

3. иметь соответствующую область применения – вода питьевая;

4. содержать метрологические характеристики и соответствующие им нормативы контроля, взаимоувязанные с приписанными (допускаемыми) характеристиками погрешности результатов анализа или ее составляющих;

5. иметь нижнюю границу диапазона определяемых концентраций не более 0,5 ПДК (ГОСТ Р 51232–98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества»). Для отдельных методик нижний предел обнаружения (НПО) находится на уровне или даже выше ПДК;

6. результаты исследований меньше НПО не должны приводить к получению неприемлемо высоких значений канцерогенного и неканцерогенного риска при хроническом пероральном поступлении. В противном случае уровни риска для здоровья населения, рассчитанные на основе концентрации вещества, полученной с применением данной МКХА, будут всегда являться неприемлемо высокими.

Для обоснования выбора подходящей МКХА, удовлетворяющей вышеописанному критерию, авторы предлагают следующие методические подходы.

Традиционно при оценке риска здоровью населения от употребления питьевой воды выделяют 2 основных характера воздействия: канцерогенный и неканцерогенный^{2,5}.

Для расчета канцерогенного риска применяется формула (1)⁷:

$$\text{Risk}_{\text{canc}} = \text{SFo} \times \text{LADD} \quad (1),$$

где: SFo – фактор канцерогенного потенциала определяемого вещества (справочная величина);

LADD – среднесуточная доза поступления вещества в организм человека с питьевой водой.

Значение LADD может быть рассчитано по формуле (2)⁷:

$$\text{LADD} = (\text{C} \times \text{CR} \times \text{ED} \times \text{EF}) / (\text{BW} \times \text{AT} \times 365) \quad (2),$$

где: C – концентрация вещества в питьевой воде;

CR – скорость поступления потребляемой питьевой воды (2 л/сут. в соответствии с рекомендациями ВОЗ [6] и Р 2.1.10.1920–04⁷);

⁹ Каталог национальных стандартов на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет. Доступно по: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/standarts/catalognational>. Ссылка активна на 03 июня 2020.

¹⁰ Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Доступно по: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry1>. Ссылка активна на 03 июня 2020.

¹¹ Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ (последняя редакция).

¹² ГОСТ Р 8.563–2009 ГСИ. Методики (методы) измерений (Докипедия: ГОСТ Р 8.563–2009 ГСИ. Методики (методы) измерений).

¹³ п. 1 статьи 42 Федерального закона от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

ED — продолжительность воздействия (70 лет в соответствии с рекомендациями ВОЗ и Р 2.1.10.1920–04);

EF — частота воздействия (350 дней/год);

BW — средняя масса тела человека (70 кг в соответствии с рекомендациями ВОЗ и Р 2.1.10.1920–04);

AT — период осреднения экспозиции (70 лет);

365 — число дней в году.

Принимая во внимание вышеуказанные рекомендации ВОЗ по усредненному объему потребляемой человеком воды за сутки и средней массе тела, формула (1) может быть упрощена до следующего вида (3):

$$\text{Risk}_{\text{canc}} = \text{SFo} \times \text{C} \times 0,027 \quad (3),$$

где: SFo — фактор канцерогенного потенциала определяемого вещества (мг/(кг × сут.)) (–1), справочная величина);

C — концентрация вещества в питьевой воде.

Зная табличную величину SFo и целевой (допустимый) показатель канцерогенного риска (например, 1×10^{-5}), можно вычислить максимальную величину НПО МКХА по следующей формуле (4):

$$\text{C} \leq \text{Risk}_{\text{canc}} / (\text{SFo} \times 0,027) \quad (4),$$

где: C — концентрация, условно приравненная к НПО МКХА.

Аналогичным образом для расчета неканцерогенного риска в соответствии с Р 2.1.10.1920–04⁷ применяется формула (5):

$$\text{Risk}_{\text{canc}} = \text{RfD} / \text{LADD} \quad (5),$$

где: RfD — референтная доза при пероральном поступлении определяемого вещества (мг/кг массы тела, справочная величина).

Зная табличную величину RfD по Р 2.1.10.1920–04⁷ и целевой (допустимый) показатель неканцерогенного риска (менее 1,0), можно вычислить максимальную величину НПО МКХА по следующей формуле (6):

$$\text{C} \leq \text{RfD} / (0,027 \times 1,0) = \text{RfD} / 0,027 \quad (6),$$

где: C — концентрация, условно приравненная к НПО МКХА.

Таким образом, зная табличные значения фактора канцерогенного потенциала и референтной дозы при пероральном поступлении определяемого вещества, можно расчетным путем обосновать выбор МКХА, приемлемой с точки зрения результатов исследования, при получении которых не будет обнаруживаться ошибочные неприемлемо высокие значения риска.

Обсуждение. В отечественных нормативно-методических документах отсутствует единообразие в интерпретации приемлемого (целевого) уровня канцерогенного риска. В частности, в Р 2.1.10.1920–04⁷ в качестве такового предлагается величина не более 1×10^{-4} (1,0E–04), а в МР 2.1.4.0032–11⁸ — не более 1×10^{-5} (1,0E–05).

В то же время Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в качестве допустимой (приемлемой) величины канцерогенного риска для питьевой воды рекомендует использовать величину 1×10^{-5} (1,0E–05)⁶.

В качестве альтернативного критерия приемлемого риска ВОЗ также рекомендует применять критерий DALY (Disability-adjusted life year (англ.) — годы жизни, скорректированные по нетрудоспособности), однако его использование во многих случаях сопряжено с трудностями оценки, в том числе в Российской Федерации [4].

Учитывая вышесказанное, авторы считают целесообразным при обосновании выбора МКХА применять в качестве критерия приемлемого канцерогенного риска величину 1×10^{-5} (1,0E–05), что позволит выбрать более прецизионную МКХА, чем в случае применения критерия приемлемого риска на уровне 1×10^{-4} (1,0E–04).

В случае с оценкой неканцерогенного риска приемлемым (целевым) уровнем принято считать величину не более 1,0^{7,8}.

В таблице приведены примеры расчетных значений НПО МКХА для оценки неканцерогенного и канцерогенного риска, а также результирующее значение для некоторых наиболее часто определяемых в питьевой воде химическим веществ, полученных с применением предлагаемых авторами формул (4) и (6).

Пример использования разработанного авторами алгоритма подтверждения соответствия МКХА вышеперечисленным критериям приведен ниже.

С целью выявления возможности использования результатов исследований содержания свинца в воде систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения при проведении санитарно-эпидемиологической экспертизы проведено сравнение двух МКХА:

— ПНД Ф 14.1:2:3:4.239–2007 (издание 2011 г.)¹⁴;

— ПНД Ф 14.1:2:4.140–98 (издание 2013 г.)¹⁵.

Лимитирующий признак вредности свинца — санитарно-токсикологический. ПДК — 0,01 мг/дм³, 0,5 НКВ — 0,005 мг/дм³, референтная доза при хроническом пероральном поступлении RfD — 0,0035 мг/кг, фактор канцерогенного потенциала при пероральном воздействии SFo — 0,047 мг/кг массы тела^{–1}.

Перед началом выполнения работ по проведению санитарно-эпидемиологической экспертизы с оценкой риска для здоровья населения на основании данных лабораторных исследований необходимо удостовериться в следующем:

— лаборатория (испытательный лабораторный центр) аккредитована в установленном порядке в национальной системе аккредитации (имеет аттестат аккредитации с областью аккредитации, позволяющей выполнять данные виды исследований),

— применяемые средства измерений внесены в государственный реестр утвержденных

¹⁴ ПНД Ф 14.1:2:3:4.239–07 (издание 2011 г.) «Методика измерений массовой концентрации ионов свинца в питьевых, поверхностных, подземных пресных и сточных водах хроматным фотометрическим методом с дифенилкарбазидом».

¹⁵ ПНД Ф 14.1:2:4.140–98 (издание 2013 г.) «Методика измерений массовых концентраций бериллия, ванадия, висмута, кадмия, кобальта, меди, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, серебра, сурьмы и хрома в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией».

Таблица. Расчетные значения НПО МКХА для оценки неканцерогенного и канцерогенного риска для наиболее часто определяемых в питьевой воде химическим веществ

Table. Estimated values of detection limits of quantitative methods of chemical analysis used to assess non-carcinogenic and carcinogenic risks posed by common drinking water pollutants

Показатель / Water pollutants	RfD, мг/кг массы тела / mg/kg body weight	SFo, мг/кг массы тела ⁻¹ / mg/kg body weight ⁻¹	НПО для оценки неканцерогенного риска, мг/дм ³ / Detection limit for non-carcinogenic risk assessment, mg/dm ³	НПО для оценки канцерогенного риска, мг/дм ³ / Detection limit for carcinogenic risk assessment, mg/dm ³	НПО для выбора МКХА, мг/дм ³ / Detection limit for selecting test methods, mg/dm ³
Барий / Barium	0,07	—	2,5926	—	2,5926
Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene	0,0005	7,3	0,0185	0,0001	0,0001
Бензол / Benzene	0,003	0,055	0,1111	0,0067	0,0067
Бериллий / Beryllium	0,002	4,3	0,0741	0,0001	0,0001
Бор / Boron	0,2	—	7,4074	—	7,4074
Бромдихлорметан / Bromodichloromethane	0,02	0,062	0,7407	0,0060	0,0060
Бромформ / Bromoform	0,02	0,0079	0,7407	0,0469	0,0469
ГХЦГ (линдан) / HCH (lindane)	0,0003	—	0,0111	—	0,0111
ДДТ (сумма изомеров) / DDT (sum of isomers)	0,0005	—	0,0185	—	0,0185
Дибромхлорметан / Dibromochloromethane	0,02	0,084	0,7407	0,0044	0,0044
Кадмий / Cadmium	0,0005	0,38	0,0185	0,0010	0,0010
Кобальт / Cobalt	0,02	—	0,7407	—	0,7407
Молибден / Molybdenum	0,005	—	0,1852	—	0,1852
Мышьяк / Arsenic	0,0003	1,5	0,0111	0,0002	0,0002
Никель / Nickel	0,02	—	0,7407	—	0,7407
Нитраты /по NO ₃ / Nitrates /by NO ₃	1,6	—	59,2593	—	59,2593
Нитриты /по NO ₂ / Nitrites /by NO ₂	0,1	—	3,7037	—	3,7037
Ртуть / Mercury	0,0003	—	0,0111	—	0,0111
Свинец / Lead	0,0035	0,047	0,1296	0,0079	0,0079
Селен / Selenium	0,005	—	0,1852	—	0,1852
Стронций / Strontium	0,6	—	22,2222	—	22,2222
Формальдегид / Formaldehyde	0,2	—	7,4074	—	7,4074
Фтор / Fluorine	0,06	—	2,2222	—	2,2222
Хлороформ / Chloroform	0,01	0,0061	0,3704	0,0607	0,0607
Хром / Chromium	0,005	0,42	0,1852	0,0009	0,0009
Цианиды / Cyanides	0,02	—	0,7407	—	0,7407

Abbreviations: RfD, reference dose; SF, slope factor; HCH, hexachlorocyclohexane; DDT, dichloro-diphenyl-trichloroethane.

типов средств измерений и имеют действующие свидетельства о поверке.

Затем провести проверку соответствия МКХА установленным требованиям (критериям):

1) ПНД Ф 14.1:2:3:4.239–2007 (издание 2011 г.)¹⁴:

— МКХА аттестована: сведения есть в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений Росстандарта, номер в реестре ФР.1.31.2014.18644;

— соответствующая область применения: измерение массовой концентрации свинца в питьевых, поверхностных, подземных пресных и сточных водах;

— МКХА содержит метрологические характеристики и соответствующие им нормативы контроля: метод обеспечивает получение результатов измерения с расширенной относительной неопределенностью измерений: от 0,04 до 0,4 мг/дм³ вкл. — 27 %, св. 0,4 до 2 мг/дм³ вкл. — 14 %;

— МКХА не удовлетворяет критерию $C_n \leq 0,5\text{НКВ}$: ПНД Ф 14.1:2:3:4.239–07 устанавливает фотометрические методы определения содержания свинца в диапазоне определения массовых концентраций от 0,04 до 2 мг/дм³;

— МКХА не удовлетворяет требуемому НПО обнаружения для получения корректных результатов оценки риска (не выше 0,0079 мг/л).

Вывод: результаты определения содержания свинца в питьевой воде, полученные с использованием ПНД Ф 14.1:2:3:4.239–07, **нельзя** применять при проведении санитарно-эпидемиологических экспертиз с оценкой риска для здоровья.

2) ПНД Ф 14.1:2:4.140–98 (издание 2013 г.)¹⁵:

— МКХА аттестована: сведения есть в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений Росстандарта, номер в реестре ФР.1.31.2013.16663;

— соответствующая область применения: настоящая методика распространяется на питьевые, природные и сточные воды;

— МКХА содержит метрологические характеристики и соответствующие им нормативы контроля: пределы относительной погрешности измерений: от 0,0002 до 0,0005 мг/дм³ вкл. — 60 %, св. 0,0005 до 0,003 мг/дм³ вкл. — 45 %, св. 0,003 до 0,01 мг/дм³ вкл. — 35 %, св. 0,01 до 0,1 мг/дм³ вкл. — 25 %, св. 0,1 до 15 мг/дм³ вкл. — 15 %;

– МКХА удовлетворяет критерию $C_n \leq 0,5\text{НКВ}$: ПНД Ф 14.1:2.4.140–98 устанавливает атомно-абсорбционные методы определения содержания свинца в диапазоне определения массовых концентраций от 0,0002 до 0,1 мг/дм³ вкл.;

– МКХА удовлетворяет требуемому НПО для получения корректных результатов оценки риска (не выше 0,0079 мг/л).

Вывод: ПНД Ф 14.1:2.4.140–98 можно применять в целях проведения санитарно-эпидемиологических экспертиз с оценкой риска для здоровья.

Аналогичным образом рассмотрим возможность использования ПНД Ф 14.1:2.4.140–98¹⁴ для исследования воды систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения на содержание мышьяка.

Лимитирующий признак вредности мышьяка – санитарно-токсикологический. ПДК – 0,01 мг/дм³, 0,5 НКВ – 0,005 мг/дм³, референтная доза при хроническом пероральном поступлении RfD – 0,0003 мг/кг, фактор канцерогенного потенциала при пероральном воздействии S_{Fo} – 1,5 мг/кг массы тела⁻¹.

ПНД Ф 14.1:2.4.140–98 (издание 2013 г.)¹⁴:

– МКХА аттестована: сведения есть в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений Росстандарта, номер в реестре ФР.1.31.2013.16663;

– соответствующая область применения: измерение массовой концентрации свинца в питьевых, поверхностных, подземных пресных и сточных водах;

– МКХА содержит метрологические характеристики и соответствующие им нормативы контроля: метод обеспечивает получение результатов измерения с расширенной относительной неопределенностью измерений: от 0,0005 до 0,0025 мг/дм³ вкл. – 28 %, св. 0,0025 до 0,0050 мг/дм³ вкл. – 21 %;

– МКХА удовлетворяет критерию $C_n \leq 0,5\text{НКВ}$: ПНД Ф 14.1:2.4.140–98 устанавливает атомно-абсорбционные методы определения содержания свинца в диапазоне определения массовых концентраций от 0,0002 до 0,1 мг/дм³ вкл.;

– МКХА не удовлетворяет требуемому НПО обнаружения для получения корректных результатов оценки риска (не выше 0,0003 мг/л).

Вывод: результаты определения содержания мышьяка в питьевой воде, полученные с использованием ПНД Ф 14.1:2.4.140–98, нельзя применять при проведении санитарно-эпидемиологических экспертиз с оценкой риска для здоровья.

Вывод. Предложенный авторами алгоритм позволит выбирать наиболее подходящие МКХА, удовлетворяющие широкому перечню требований, в том числе с учетом возможности использования результатов для оценки риска здоровью населения.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования – Федоров В.Н., Новикова Ю.А.; сбор и обработка материала – Зарицкая Е.В.; статистическая обработка – Сладкова Ю.Н.; написание и редактирование текста – Метелица Н.Д.

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Горяев Д.В., Тихонова И.В., Торотенкова Н.Н. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Красноярского края // Анализ риска здоровью. 2016. № 3. С. 35–43.
2. Сулейманов Р.А., Бакиров А.Б., Валеев Т.К. и др. Регулирование качества питьевой воды как фактор снижения риска заболеваемости населения // Медицина труда и экология человека. 2016. № 2. С. 14–19.
3. Клейн С.В., Вековщина 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.
4. Коньшина Л.Г., Лежнин В.Л. Оценка качества питьевой воды и риска для здоровья населения // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 3. С. 5–9.
5. Унгурану Т.Н., Новиков С.М. Результаты оценки риска здоровью населения России при воздействии химических веществ питьевой воды (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 1. С. 19–24.
6. Бастраков С.И., Николаев А.П. Оценка риска качества питьевой воды для здоровья населения // Санитарный врач. 2013. № 3. С. 009–010.
7. Акайзина А.Э. Оценка риска для здоровья детского населения при воздействии химических веществ, загрязняющих питьевую воду // Современные подходы к обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения России. Материалы научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 80-летию со дня рождения академика РАМН, заслуженного деятеля науки РФ А.И. Потапова. Под ред. В.Н. Ракитского. 2015. С. 20–22.
8. Фридман К.Б., Новикова Ю.А., Белкин А.С. К вопросу об использовании методики оценки риска для здоровья в целях гигиенической характеристики систем водоснабжения // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 7. С. 686–689.
9. Рахманин Ю.А., Красовский Г.Н., Егорова Н.А. и др. 100 лет законодательного регулирования качества питьевой воды. Ретроспектива, современное состояние и перспективы // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 2. С. 5–18.
10. Киселев А.В., Мельцер А.В., Ерастова Н.В. Интегральная оценка питьевой воды по показателям химической безвредности на основе методологии оценки риска для здоровья населения // Профилактическая и клиническая медицина. 2011. № 3 (40). С. 284–287.
11. Белоусова А.П. Оценка опасности и риска загрязнения подземных вод // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2006. № 2. С. 115–123.
12. Степанова Н.В., Фомина С.Ф. Оценка неканцерогенного риска для здоровья детского населения при комплексном поступлении химических веществ с питьевой водой // Материалы межрегиональной научно-практической интернет-конференции: Актуальные вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения на уровне субъекта федерации. Под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2017. С. 217–225.
13. Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Орлов А.А. и др. Оценка риска здоровью населения, связанного с качеством питьевой воды // Здоровье населения и среда обитания. 2016. № 9 (282). С. 17–19.
14. Бардина Д.А., Михайлова П.Г. Разработка алгоритма оценки риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих питьевую воду // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т. 29. № 4 (163). С. 57–59.

References

12. Goryaev DV, Tikhonova IV, Torotenkova NN. Hygienic assessment of drinking water quality and

- risks to public health in Krasnoyarsk region. *Health Risk Analysis*. 2016; (3):35–43. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.3.04>
2. Suleimanov RA, Bakirov AB, Valeyev TK, *et al.* Regulation of drinking water quality as a factor for decreasing morbidity risks of the population. *Meditsina Truda i Ekologiya Cheloveka*. 2016; (2):14–19. (In Russian).
 3. Klein SV, Vekovshina SA, Sboev AS. Priority risk factors of drinking water and the related with it economical loss. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95(1):10–14. DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-10-14>
 4. Konshina LG, Lezhnin VL. Assessment of the quality of drinking water in the industrial city and risk for public health. *Gigiena i Sanitariya*. 2014; 93(3):5–9. (In Russian).
 5. Unguryanu TN, Novikov SM. Results of health risk assessment due to exposure to contaminants in drinking water in Russia population (review of literature). *Gigiena i Sanitariya*. 2014; 93(1):19–24. (In Russian).
 6. Bastrakov SI, Nikolaev AP. [Risk assessment of the quality of drinking water for public health.] *Sanitarnyi Vrach*. 2013; (3):009–010. (In Russian).
 7. Akajzina AE. [Risk assessment for children's health under the influence of chemicals polluting drinking water.] In: *Modern approaches to ensuring the sanitary and epidemiological well-being of the population of Russia: Proceedings of the Scientific and Practical Conference of young scientists dedicated to the 80th birthday of Academician of the Russian Academy of Medical Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation A.I. Potapov, Moscow, 22 October 2015*. Rakitsky VN, editor. Moscow: Dashkov & Co. Publ., 2015. P. 20–22. (In Russian).
 8. Fridman KB, Novikova YuA, Belkin AS. On the issue of the use of health risk assessment techniques for hygienic characteristics of water supply systems. *Gigiena i Sanitariya*. 2017; 96(7):686–689. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-686-689>
 9. Rakhmanin YuA, Krasovsky GN, Egorova NA, *et al.* 100 years of drinking water regulation. Retrospective review, current situation and prospects. *Gigiena i Sanitariya*. 2014; 93(2):5–18. (In Russian).
 10. Kiselev AV, Mel'cer AV, Erastova NV. Integral assessment of drinking water on indicators of chemical safety based on risk assessment methodology for public health. *Profilakticheskaya i Klinicheskaya Meditsina*. 2011; (3(40)):284–287. (In Russian).
 11. Belousova AP. [Assessment of hazard and risk of groundwater pollution.] *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya, Gidrogeologiya, Geokriologiya*. 2006; (2):115–123. (In Russian).
 12. Stepanova NV, Fomina SF. Assessment of non-carcinogenic health risks of the child population with comprehensive ingress of chemicals with drinking water. In: *Topical issues of ensuring sanitary and epidemiological well-being of the population at the level of the subject of the federation: Proceedings of the Interregional Scientific and Practical Internet-Conference*. Popova AY, Zaitseva NV, editors. Perm: Perm nats. issled. politikh. un-t Publ., 2017. P. 217–225. (In Russian).
 13. Valeyev TK, Suleymanov RA, Orlov AA, *et al.* Estimation of risk to health of the population connected with quality of potable water. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2016; (9(282)):17–19. (In Russian).
 14. Bardina DA, Mikhaylova PG. [Development of the algorithm of assessing population health risks from exposure to drinking water pollutants.] *Uspekhi v Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2015; 29(4(163)):57–59. (In Russian).

Контактная информация:

Федоров Владимир Николаевич, научный сотрудник
отделения анализа, оценки и прогнозирования
Отдела исследований среды обитания и здоровья
населения в Арктической зоне Российской Феде-
рации (АЗРФ)
e-mail: vf1986@mail.ru

Corresponding author:

Vladimir N. **Fedorov**, Researcher, Unit for Analysis,
Evaluation and Forecasting, Department for Envi-
ronmental Research and Public Health in the Russian
Arctic, North-West Public Health Research Center of
Rosпотребнадзор
e-mail: vf1986@mail.ru

Статья получена: 05.06.2020
Принята в печать: 07.10.2020
Опубликована 30.10.2020

