

Рахманин Ю.А.¹, Розенталь О.М.²

О повышении достоверности гигиенической оценки качества воды природных источников питьевого водоснабжения

¹НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» ФМБА России, 119121, Москва, Россия;

²ФГБУН «Институт водных проблем» Российской академии наук, 119991, Москва, Россия

Введение. По мере того как водные объекты аккумулируют всё новые токсичные вещества, актуализируется задача повышения достоверности гигиенической оценки качества воды. Для корректного решения данной задачи, актуальной, например, при необходимости разрешения арбитражных ситуаций (споров), не всегда достаточно сопоставлять результат измерений концентраций (С) с нормативом, например, с максимальным значением, известным как ПДК. В качестве дополнительного может быть использован вероятностно-статистический подход оценки результатов исследования.

Материалы и методы. Для дополнительного учёта факторов неопределённости при гигиенической оценке качества воды в работе предложен метод контроля, предусматривающего не только обеспечение требования типа $C \leq \text{ПДК}$, но также и гарантию достоверности этого неравенства на уровне заданной вероятности $R \leq 1$. В таком случае количество параллельных измерений показателей качества воды, гарантирующее некоторый приемлемый уровень неопределённости результатов исследований, устанавливается контролирующим органом, принимающим уровень допустимой ошибки.

Результаты. Показано, что в тех случаях, когда производится оценка санитарно-гигиенической безопасности воды, целесообразно сформировать соответствующий интервал, в пределах которого вода отвечает установленным требованиям с учётом допустимой вероятности нарушения установленных требований.

Заключение. Установлено: правило «если нельзя утверждать, что контролируемые показатели качества воды не соответствуют гигиеническим требованиям, то, следовательно, требования выполняются» не эквивалентно правилу «если показатели отвечают установленным требованиям, то они не могут быть несоответствующими», которое более надёжно свидетельствует о выполнении этих требований.

Ключевые слова: гигиеническая оценка воды; предельно допустимая концентрация; доверительная вероятность; риск; допусковый контроль

Для цитирования: Рахманин Ю.А., Розенталь О.М. О повышении достоверности гигиенической оценки качества воды природных источников питьевого водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1198–1202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1198-1202>

Для корреспонденции: Розенталь Олег Моисеевич, доктор тех. наук, гл. науч. сотр. Института водных проблем РАН, 119991, Москва. E-mail: orosental@rambler.ru; Рахманин Юрий Анатольевич, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, гл. науч. консультант ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: awme@mail.ru

Участие авторов: Рахманин Ю.А. — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Розенталь О.М. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0004 (№ гос. регистрации АААА-А19-119040990079-3) Государственного задания РАН.

Поступила: 26.02.2021 / Принята к печати: 28.09.2021 / Опубликована: 30.11.2021

Yury A. Rakhmanin¹, Oleg M. Rosental²

On elevating the reliability of the hygienic assessment of water quality of natural sources of drinking water supply

¹A.N. Sysin Research Institute of human ecology and environmental health of the Center for Strategic Planning and Management of Medical and Biological Health Risks of the FMBA of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation;

²Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991, Russian Federation

Introduction. As new toxic substances accumulate in water bodies, improving the reliability of the hygienic assessment of water quality is put forward in the first place. For the correct solution of this problem, it is relevant to use the direct comparison of deterministic quantities such as the maximum permissible concentration (MPC) of toxic pollutants with the result of its measurements (C) and methods of approach for evaluating the results of research.

Material and methods. To improve the reliability of hygienic assessment of water quality in the proposed method tolerance control, envisaging the elucidation of the implementation type inequality and estimation of the probability of this event: where is the risk of false imprisonment. The number of concurrent measurements of water quality parameters guaranteeing an acceptable level of risk of error of research results is established by the authority of sanitary-epidemiological supervision, receiving a limited level of tolerable error taking into account the possibilities of metrological assurance of conformity assessment/quality of water and its normative level.

Results. It is shown that in cases when the compliance of controlled safety indicators is evaluated, the values of which are limited on both sides, as is the case when studying the physiological usefulness of water, it is necessary to establish a two-way range of values of the permissible probability of violation of the specified requirements.

Conclusion. First installed: the rule “if it is impossible to argue that controlled water quality indicators do not meet hygienic requirements. Thus requirements are met” is not equivalent to the law “if the indicators meet the requirements, then they can’t be inappropriate”, which more reliably indicates compliance with these requirements.

Keywords: hygienic assessment of water; maximum permissible concentration; confidence probability; risk; tolerance control

For citation: Rakhmanin Yu.A., Rosental O.M. On elevating the reliability of the hygienic assessment of water quality of natural sources of drinking water supply. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1198–1202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1198-1202> (In Russ.)

For correspondence: Oleg M. Rosenthal, MD, PhD. DSci., chief researcher of the Institute of water problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail: orosental@rambler.ru

Information about the authors: Rakhmanin Yu.A., <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014>

Rosental O.M., <https://orcid.org/0000-0001-6261-6060>

Contribution: Rakhmanin Yu.A. — concept and design of the research, editing, approval of the article’s final version, responsibility for the integrity of all parts of the article; Rosental O.M. — concept and design of the research, collection and processing of material statistical processing, writing the text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The work was carried out in the framework of the scientific program of the Russian Academy of Sciences, a topic no. 0147-2019-0004 (governmental registration no. АААА-А19-119040990079-3)

Received: February 26, 2021 / Accepted: September 28, 2021 / Published: November 30, 2021

Введение

По мере того как в водных объектах выявляются всё новые токсичные компоненты, повышается значимость санитарно-гигиенического контроля [1]. Вследствие этого особую остроту приобретает задача обеспечения точности заключений, требующихся в условиях высокой (десятки процентов) погрешности измерений и не менее значительной ошибки, связанной с периодичностью контроля исследуемых показателей. Необходимость повышения достоверности выводов актуализируется, если заинтересованные стороны получают противоположные результаты о соответствии или несоответствии воды нормативным требованиям, то есть в ситуациях, с которыми в последние годы судебные органы сталкиваются всё чаще, в том числе на международном уровне [2]. В последних случаях недостаточно интенсивного водного сотрудничества, водной дипломатии и призывов к коллективной ответственности [3]. Следует выработать механизмы адекватной и единой оценки точности систем гигиенического контроля качества воды. Необходимо установление на законодательном уровне правил оценки таких характеристик, как действительное значение контролируемого показателя по результатам измерений выборочного или сплошного контроля состава воды. Сомнительным с арбитражной точки зрения может оказаться также прямое сопоставление детерминированных величин, таких как предельно допустимая концентрация (ПДК) токсичного загрязнителя и его измеренная концентрация (C). Для гарантии безопасности состава воды в таких случаях необходим учёт фактора неопределённости информации по результатам выборочных измерений. Подобная работа предусматривает выяснение не вопроса о том, не превышает ли исследуемая характеристика её предельно допустимое нормативное значение, а оценку вероятности $U \leq 1$ нарушения условий безопасности воды, например, в форме:

$$U = \text{Вероятность } (C > \text{ПДК}) \quad (1)$$

Материалы и методы

Методика оценки показателей качества воды источников питьевого водоснабжения. С учётом периодичности измерений и их ограниченного количества возможен недостоверный результат, например, ошибочно указывающий на то, что качество воды удовлетворяет установленным требованиям ($C \leq \text{ПДК}$). Существует определённая вероятность R выполнения приведённого неравенства, но также и его невыполнения $U = 1 - R$, поскольку по выборочным данным удаётся выяснить не истинные значения контролируемых величин, а их оценку:

$$\hat{R} = \frac{i-j}{i}, \quad U = \frac{j}{i},$$

где i – общее число измерений, из которых j не удовлетворяет установленным требованиям. Поэтому необходима оценка фактора неопределённости полученной измерительной информации.

Если при достаточном (репрезентативном) объёме исследований не обнаружено случаев невыполнения норматива, то есть если $j = 0$, то вероятность $\text{Вер} \{C \leq \text{ПДК}\} \approx 1$, и тогда почти уверенно принимается неравенство $C \leq \text{ПДК}$. Так происходит, когда значение контролируемого показателя значительно меньше норматива, что бывает далеко не всегда. Подобная ситуация маловероятна, например, если уровень нестабильности (вариабельности) контролируемых показателей повышен, как это характерно для результатов определения показателей качества воды речных потоков промышленных регионов. Маловероятно это и при доочистке воды, поскольку поставщик не заинтересован в избыточном удалении загрязняющих веществ до «рекордно низкого» уровня, намного ниже норматива.

В целом при выборочном контроле распространена ситуация, при которой j – величина, отличная от нуля. Поэтому правила обработки статистической информации предусматривают интервальную оценку вероятности R , ограниченную верхним ($R_{\text{В}}$) и нижним ($R_{\text{Н}}$) пределами. Тогда установленная заранее доверительная вероятность (надёжность) γ оценки параметра R , характеризующая уверенность в том, что в указанном интервале находится истинное значение исследуемой характеристики [4], равна:

$$\gamma = \text{Вероятность } (R_{\text{Н}} \leq R \leq R_{\text{В}}) \quad (2)$$

Таким образом, повышение достоверности гигиенической оценки качества воды предусматривает интервальное оценивание с учётом границ допуска и уровня надёжности γ , как это показано на рис. 1. Впрочем, возможны и другие факторы нестабильности [5, 6] (последнее замечание связано с высокой вариабельностью токсикологических последствий загрязнения воды для организмов, как это фиксируется стандартами¹, и приводит к высокому значению межлабораторных различий оценки острой токсичности² [6]).

Процедуры и ограничения. Использование описанного алгоритма оценки качества воды рассмотрим для случая, в котором нарушение нормативов ограничено требованием. Это означает, что не допускается более чем 10% проб, контролируемые характеристики воды в которых не соответствуют нормативным ограничениям. Другими словами,



Рис. 1. Сопоставление существующей и скоррелированной системы гигиенической оценки качества воды.

КП – контролируемый показатель; N – норматив; $R_{\text{зад}}$ – предельное значение величины R ; P – вероятность того, что неравенство, записанное в скобках, выполняется.

Fig. 1. Comparison of the existing and correlated system of hygienic assessment of water quality.

КП is a controlled indicator; N is the norm; $R_{\text{зад}}$ is the limit value of the value R ; P is the probability that the inequality written in parentheses is fulfilled.

¹ ГОСТ Р 53022.2-2008 «Технологии лабораторные клинические. Требования к качеству клинических лабораторных исследований. Часть 2. Оценка аналитической надёжности методов исследования (точность, чувствительность, специфичность)»; ГОСТ 32428-2013 «Метод испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение хронической токсичности для рыб: 14-дневный тест»; ГОСТ 32541-2013 «Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Краткосрочное испытание токсичности на эмбрионах и предличинках рыб».

² ГОСТ 31960-2012 (ISO 10253:2006) «Вода. Методы определения токсичности по замедлению роста морских одноклеточных водорослей».

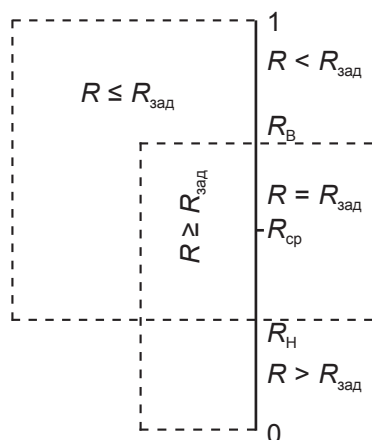


Рис. 2. Сравнение результатов исследования качества воды с нормативной характеристикой, определяемой с учётом установленной величины $R_{\text{зад}}$.

Fig. 2. Comparison of the results of the water quality study with the normative characteristics determined, taking into account the established value of $R_{\text{зад}}$ ($R_{\text{preetermined}}$).

при проведении всего $i = 10$ измерений недопустимо более чем одно несоответствие ($j = 2$). Если же $i = 50$, то не допускается более пяти несоответствий ($j \leq 5$). И наконец, при числе измерений $i = 100$ несоответствий не может быть более 10 ($j \leq 11$).

Пусть были получены следующие результаты: в первом случае $j = 1$, во втором $j = 5$, в третьем $j = 10$. Необходимо решить вопрос о том, какому результату следует доверять больше, если принять во внимание, что уровень доверия зависит от ширины доверительного интервала: чем он более широкий, тем выше неопределённость полученного вывода.

Очевидно, что чем больше измерений, тем точнее результат, однако при его интервальном оценивании это требует количественного подтверждения. В частности, используя биномиальное распределение числа случаев соответствия и несоответствия показателем воды нормативам:

$$\frac{i!}{j!(i-j)!} R^{i-j} (1-R)^j$$

с принятой выше надёжностью, получим, что в первом из перечисленных случаев, то есть при $i = 10$ и $j = 1$, величина R лежит в диапазоне 0,6–0,995. Если же $i = 50$, а также $j = 5$, то нижняя граница интервала увеличивается, а верхняя – уменьшается, так что интервал значений R сужается до уровня 0,8–0,959. Наиболее узким он становится в случае, если $i = 100$ и соответственно $j = 10$. В этом случае R лежит в интервале 0,836–0,94. Соответственно смещается и наиболее вероятное среднее значение этой величины. В 1-м из перечисленных случаев $R_{\text{сп}} = 0,7975$, во втором – 0,8795, в третьем – 0,888. Из приведённых данных следует, что здесь величина вероятности $R_{\text{сп}}$ постепенно приближается к $R_{\text{зад}}$, в данном случае равному 0,9, но этого значения не достигает, так что при используемом подходе можно лишь констатировать нарушение установленных нормативов «в среднем».

Выборочный контроль, реально используемый в санитарно-гигиенической практике, как правило, не позволяет вынесения однозначного заключения о безопасности или опасности воды; реальным выводом является лишь оценивание вероятности такого заключения, достаточно обоснованного. Причиной этого является неизбежное существование

границ доверительного интервала. В зависимости от соотношения (локализации) этих границ и нормативной характеристики может быть установлено то или иное суждение о качестве воды, как это иллюстрирует рис. 2.

Пусть, например, величина заданной вероятности, то есть величина $R_{\text{зад}}$ располагается в области ниже нижней границы доверительного интервала и $0 < R_{\text{зад}} < R_{\text{Н}}$. В этом случае высока надёжность (не менее $\gamma = 0,9$) того, что санитарно-гигиенические требования выполняются.

Напротив, если величина $R_{\text{зад}}$ локализована в области выше верхней границы доверительного интервала, то есть в области между 1 и $R_{\text{Н}}$, то тогда скорее всего санитарно-гигиенические требования не выполняются, и качество воды небезопасно.

В других, промежуточных случаях, когда реализуется условие $R_{\text{Н}} < R_{\text{зад}} < R_{\text{В}}$, делается вывод о равенстве величин R и $R_{\text{зад}}$. Причём при «мягком» требовании к заключению о качестве воды в форме условия $\hat{R} \geq R_{\text{зад}}$ вода считается безопасной. Если же установлено требование в форме $\hat{R} > R_{\text{зад}}$, то необходимо дальнейшее исследование соотношения оценки R и $R_{\text{зад}}$.

При этом даже в тех случаях, когда заданная вероятность $R_{\text{зад}}$ намного меньше реального значения величины R , всё-таки существует некоторая, невысокая, в данном случае равная $\gamma = \frac{1-\gamma}{2} = 0,05$, вероятность соответствия между

значениями R и $R_{\text{В}}$. При проверке качества воды подобную возможность необходимо учитывать, и тогда уже не следует удовлетворяться выполненным количеством измерений i , число которых необходимо увеличить, как это показано далее.

Пусть количество измерений, оценка которого приведена на рис. 1, не гарантирует достоверности вывода о том, что $R_{\text{Н}} \geq R_{\text{зад}}$. Чтобы такой вывод проверить с наименьшими усилиями, достаточно воспользоваться статистическими таблицами биномиального распределения. В результате оказывается, что для доказательства соответствия/несоответствия воды установленным требованиям общего числа измерений i в количествах, приведённых ранее (то есть при $i = 10$ в 1-м случае, когда $j = 1$; 50 во 2-м, когда $j = 5$, и 100 в 3-м, когда $j = 10$), уже недостаточно. Вместо этого требуется значительно большее число измерений, а именно: $i = 46, 100, 150$ соответственно. Другими словами, в первом случае число измерений придётся увеличить в 4 с лишним раза, во втором – вдвое, а в третьем случае – в полтора раза. При этом оценка вероятности выполнения установленных требований составит:

$$\text{в 1-м случае } \hat{R}_1 = \frac{i-j}{i} = \frac{46-1}{46} = 0,978,$$

во 2-м – $\hat{R} = 0,95$ и в 3-м – $\hat{R}_3 = 0,933$. Соответствующие же значения верхней границы доверительного интервала и среднего $R_{\text{сп}} = \frac{R_{\text{Н}} + R_{\text{В}}}{2}$ уже будут:

в 1-м случае $R_{\text{В}} = 0,99, R_{\text{сп}} = 0,95$, во 2-м – $R_{\text{В}} = 0,98, R_{\text{сп}} = 0,94$, в 3-м – $R_{\text{В}} = 0,96, R_{\text{сп}} = 0,93$.

Таким образом, достоверное доказательство качества воды требует при уменьшении j и соответственно увеличении ширины доверительного интервала проведения измерений во всё большем количестве.

Выяснение предположения (гипотезы) о выполнении или нарушении установленных требований. Предположения (гипотезы) о выполнении или нарушении санитарно-гигиенических нормативов безопасности воды в зависимости от результатов инструментальных измерений могут быть различны, как это следует из рис. 2. В то же время соответствие характеристик качества воды нормативам признаётся безоговорочно, то есть принимается, что $R > R_{\text{зад}}$, если обнаруживается, что $R_{\text{Н}} \geq R_{\text{зад}}$. В отличие от этого безоговорочно признаётся несоответствие $R < R_{\text{зад}}$ в том случае, если окажется,

что $R_B \leq R_{\text{зад}}$. Наиболее сложным для заключения о качестве является случай, когда заданная вероятность $R_{\text{зад}}$ оказывается в диапазоне значений $R_H - R_B$. Впрочем, при наиболее распространённом на практике условии $R \geq R_{\text{зад}}$ в этом случае принимается предположение о соответствии воды нормативным требованиям.

Возможно менее строгое, но зато и упрощённое оценивание качества воды без назначения приемлемой вероятности ошибочного заключения, но по-прежнему с установлением значения величины $R_{\text{зад}}$, например, на уровне 0,9, выбранном ранее. В этом случае при одностороннем оценивании вода признаётся несоответствующей нормативным требованиям, если исследования показывают, что доля несоответствий $R < R_{\text{зад}}$. Если же последнее неравенство по данным лабораторных исследований не подтверждается, то принимается, что вода безопасна. Данное заключение приемлемо, если количество измерений существенно ограничено, как это показано далее.

Упрощённый метод одностороннего оценивания соответствия качества воды установленным требованиям. Пусть при рассматриваемом одностороннем ограничении качества воды (сверху) величина $R_{\text{зад}}$ снова задана на уровне 0,9. В этом случае достаточно установить, что вероятность R не превышает приведённого выше значения, чтобы отрицать нарушение санитарно-гигиенических нормативов. В то же время при данных, приведённых ранее, и при $j = 5$ верхняя граница интервала, в котором заключено истинное значение R , меньше 0,9 при $i = 20$, но больше при $i = 21$ (соответственно 0,89 и 0,901); если же число измерений, в которых получен неудовлетворительный результат, удваивается ($j = 5 \cdot 2 = 10$), то тогда аналогичный переход для R происходит в диапазоне $i = 55-60$. Соответствующая верхняя граница указанного интервала есть 0,898–0,906.

Любопытно, что при $j = 1$ считать воду несоответствующей нормативам здесь нельзя, потому что верхняя граница доверительной вероятности всегда больше 0,9. В частности, даже при $i = 3$ верхняя граница интервала превышает 0,98.

Таким образом, формирование результатов исследования безопасности и качества воды предполагает особую осторожность в условиях выборочного контроля периодически исследуемых проб и повышенной вариабельности контролируемых показателей. При этом чем больше данных, указывающих на несоответствие качества воды нормативам, тем больше требуется измерений для достоверного вывода. Кроме того, «строгое» оценивание (вида $(C > \text{ПДК})$) может привести к выводам, противоположным тем, которые получены при «мягком» (вида $(C \leq \text{ПДК})$) оценивании. К тому же и разные методы (планы) выборочного контроля требуют разного количества измерений, а поставяющая и принимающая (контролирующая) качество воды стороны часто не заинтересованы в единстве таких методов. Поэтому важно доказать, что несоответствий нет, а потребителю или органу контроля – что соответствие воды нормативам гарантировано. Доказательство указанных фактов требует разного количества измерений, так что противоположные интересы поставщика и потребителя предполагают и разные методы исследований. Доказательство того, что соответствие воды нормативам гарантировано, требует большего количества измерений, чем установление факта отсутствия несоответствий.

Обсуждение

В современной методологии оценки санитарно-эпидемиологического благополучия одно из важнейших мест занимает проблема снижения фактора неопределённости оценки качества воды. Органы санитарно-эпидемиологического надзора «сталкиваются с внутренними и внешними факторами и воздействиями, которые порождают неопределённость в от-

ношении того, достигнут ли они своих целей»³ [7]. Влияние такой неопределённости на цели представляет собой вероятностную характеристику³. Этим необходимо руководствоваться и при оценке результатов гигиенического анализа качества воды, оцененных путём выборочных измерений, значение которых не обязательно совпадает с действительным, поскольку гидрохимические, гидробиологические и другие характеристики водных ресурсов представляют собой случайные величины. Соответственно, необходима регламентная корректировка контрольно-надзорной деятельности [8, 9].

Имеются многочисленные исследования, направленные на повышение достоверности контроля качества питьевых и сточных вод [10–13], уровень которого снижается в условиях оценки контролируемых показателей по результатам непосредственного сопоставления случайной величины (концентрации) и детерминированной (норматива). При использовании методики, развитой в данной работе, такая оценка может быть выполнена, например, при необходимости повышения достоверности вывода в случае арбитражных споров. Это также будет способствовать сокращению негативных последствий от использования недостоверных оценок, прежде всего в случаях, когда не соответствующая санитарно-гигиеническим требованиям вода будет ошибочно признана соответствующей или соответствующая – несоответствующей [14–17].

Заключение

1. Приведены доводы о необходимости корректировки факторов неопределённости при непосредственном сопоставлении концентрации (величины случайной) загрязняющих веществ в воде и норматива (величины детерминированной). В связи с этим сделано предложение о целесообразности критического анализа соответствующих нормативных документов и рекомендаций, в том числе опирающихся на такое сопоставление⁴. Предлагается в случаях повышенных требований к оценке качества воды дополнить детерминированные методы с использованием соотношений типа $C \leq \text{ПДК}$ методами оценки вероятности реализации этого неравенства: $U = \text{Вероятность } (C > \text{ПДК})$.

2. Показано, что недостаточная достоверность вывода при прямом использовании соотношений о соответствии воды нормативным требованиям или о несоответствии $C \leq \text{ПДК}$ может быть устранена путём установления желательного уровня доверительной вероятности с учётом погрешности измерений и репрезентативности выборки. При этом должно быть скорректировано количество необходимых измерений.

3. Если производится оценка соответствия контролируемых показателей безопасности, значения которых ограничены с двух сторон, как это бывает при исследовании физиологической полноценности питьевой воды, то тогда целесообразно на уровне доверительной вероятности оценивать неопределённость информации о том, что установленные требования выполняются.

³ ГОСТ Р ИСО 31000-2010 Менеджмент риска. Принципы и руководство. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2007. Concepts, Methods, and Data Sources for Cumulative Health Risk Assessment of Multiple Chemicals, Exposures and Effects: A Resource Document. EPA/600/R-06/013F. August.-2007.

⁴ Чистая вода: паспорт федерального проекта. Утв. протоколом заседания проектного комитета по национальному проекту «Экология» № 3 от 21 декабря 2018 г. Доступно по: <https://www.minstroyrf.ru/docs/17692/>. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1986. Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures. EPA/630/R-98/002. Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. September – 1986. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2003. b. Framework for Cumulative Risk Assessment. EPA/630/P02/001F. Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. May. 2003.

Литература

(п.п. 2, 4, 6, 7, 10, 11, 15, 17 см. References)

1. Онищенко Г.Г., Рахманин Ю.А., Зайцева Н.В., Землянова М.А., Акатова А.А. *Научно-методические аспекты обеспечения гигиенической безопасности населения в условиях воздействия химических факторов*. М.: Медицинская книга; 2004.
3. Ежегодник «Вода в Центральной Азии и мире». Доступно: <https://cawater-info.net/yearbook/index.htm>
5. Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А. *Экстраполяция токсикологических данных с животных на человека*. М.: Медицина; 2009.
8. Рахманин Ю.А., Мельшер А.В., Киселев А.В., Ерастова Н.В. Гигиеническое обоснование управленческих решений с использованием интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности и эпидемиологической безопасности. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(4): 302–5. <https://doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-4-302-305>
9. Зайцева Н.В., Сбоев А.С., Клейн С.В., Вековшинина С.А. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора. *Анализ риска здоровью*. 2019; (2): 44–55. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.05>
12. Тулакин А.В., Плитман С.И., Амплеева Г.П., Пивнева О.С. Риск-ориентированный надзор как основа обеспечения безопасности питьевой воды: проблемы и возможности. *Прикладные информационные аспекты медицины*. 2018; 21(3): 28–31.
13. Нefeldова Е.Д., Хьямяляйнен М.М., Ковжаровская И.Б., Шевчик Г.В. Риск-ориентированный подход к организации контроля качества питьевой воды. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2018; (3): 5–9.
14. ЮНЕСКО. Доклад Организации Объединенных Наций о состоянии водных ресурсов – 2019: Не оставляя никого в стороне. Доступно: <https://ru.unesco.org/node/305030>
16. Штабский Б.М., Каган Ю.С., Кашельсон Б.А. Определение безвредных уровней воздействия химических веществ как диагностическая задача гигиены. *Гигиена и санитария*. 1983; 62(11): 74–6.

References

1. Onishchenko G.G., Rakhmanin Yu.A., Zaytseva N.V., Zemlyanova M.A., Akatova A.A. *Scientific and Methodological Aspects of Ensuring Hygienic Safety of the Population under the Influence of Chemical Factors [Nauchno-metodicheskie aspekty obespecheniya gigenicheskoy bezopasnosti naseleniya v usloviyakh vozdeystviya khimicheskikh faktorov]*. Moscow: Meditsinskaya kniga; 2004. (in Russian)
2. Report of the International court of Justice at the 73rd session of the UN General Assembly in 2018. Available at: <https://www.un.org/pga/73/2018/10/25/report-of-the-international-court-of-justice>
3. Water Yearbook: Central Asia and around the Globe. Available at: https://cawater-info.net/yearbook/index_e.htm
4. Rozental O.M., Aleksandrovskaya L.N. Expert and statistic assessment of water quality. *J. Water Chem. Technol.* 2019; 41(1): 3–14. <https://doi.org/10.3103/S1063455X19010016>
5. Krasovskiy G.N., Rakhmanin Yu.A., Egorova N.A. *Extrapolation of Toxicological Data from Animals to Humans [Ekstrapolyatsiya toksikologicheskikh dannykh s zhivotnykh na cheloveka]*. Moscow: Meditsina; 2009. (in Russian)
6. Ricos C., Alvarez V., Cava F., Garcia-Lario J.V., Hernandez A., Jimenez C.V., et al. Current databases on biological variation: pros, cons and progress. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 1999; (59): 491–500. <https://doi.org/10.1080/00365519950185229>
7. WHO. Human health risk assessment toolkit: chemical hazards. Geneva; 2010.
8. Rakhmanin Yu.A., Mel'tser A.V., Kiselev A.V., Erastova N.V. Hygienic substantiation of management decisions with the use of the integral assessment of drinking water on indices of chemical harmlessness and epidemiological safety. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(4): 302–5. <https://doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-4-302-305> (in Russian)
9. Zaytseva N.V., Sboev A.S., Kleyn S.V., Vekovshinina S.A. Drinking water quality: health risk factors and efficiency of control and surveillance activities by Rosпотребнадзор. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (2): 44–55. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.05> (in Russian)
10. Rak J., Pietrucha K. Risk in drinking water quality control. *Przemysl. Chem-iczny*. 2008; 87(5): 554–6.
11. Astaraie-Imania M., Kapelan Z., Butler D. Risk-based water quality management in an integrated urban wastewater system under climate change and urbanisation. Available at: <https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/21292>
12. Tulakin A.V., Plitman S.I., Ampleeva G.P., Pivneva O.S. The risk-oriented supervision of drinking water: problems and possibilities. *Prikladnye informat-sionnye aspekty meditsiny*. 2018; 21(3): 28–31. (in Russian)
13. Nefeldova E.D., Khyamyalyaynen M.M., Kovzharovskaya I.B., Shevchik G.V. Risk-oriented approach to the arrangement of drinking water quality control. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2018; (3): 5–9. (in Russian)
14. UNESCO. World Water Development Report 2019 – Leaving No One Behind. Available at: <https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019>
15. Northcott K., Bartlett S., Sheehan D., Snape I., Scales P., Gray S. Water quality risk management strategies for remote operations. *Water Sci. Technol. Water Supply*. 2018; 18(2): 482–9. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.130>
16. Shtabskiy B.M., Kagan Yu.S., Katsnel'son B.A. Determination of harmless levels of exposure to chemicals as a diagnostic task of hygiene. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 1983; 62(11): 74–6. (in Russian)
17. Travis C.C., Richter S.A., Crouch E.A.C., Wilson R., Klema E.D. Cancer risk management. A review of 132 federal regulatory decisions. *Environ. Sci. Technol.* 1987; 21(5): 415–20. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2012020>