

© Жолдакова З.И., Синицына О.О., Мамонов Р.А., Лебедь-Шарлевич Я.И., Печникова И.А., 2019  
УДК 614.777

## Совершенствование требований к контролю за применением хлорсодержащих средств обеззараживания воды

З.И. Жолдакова<sup>1</sup>, О.О. Синицына<sup>2</sup>, Р.А. Мамонов<sup>1</sup>,  
Я.И. Лебедь-Шарлевич<sup>1</sup>, И.А. Печникова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Минздрава России,  
ул. Погодинская, д. 10, стр. 1, г. Москва, 119121, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора,  
ул. Семашко, д. 2, Московская область, г. п. Мытищи, 141014, Российская Федерация

**Резюме:** *Введение.* Для обеззараживания воды наиболее широко применяют окислительные методы, в том числе с помощью таких реагентов, как хлор, диоксид хлора, гипохлорит натрия и кальция. Однако в нормативных документах санитарно-эпидемиологического законодательства не в полной мере отражены требования к контролю за их применением. *Материалы и методы.* Проведен анализ научно-исследовательской, нормативной и методической литературы, касающейся вопросов обеззараживания воды в процессе водоподготовки и параметров эффективности обеззараживания воды, а также качества питьевой воды трех станций водоподготовки по данным производственного контроля (г. Пермь) и результатам собственных исследований (гг. Нижний Тагил и Куритиба (Бразилия)). *Результаты исследования.* Сравнительный анализ нормативных документов, регламентирующих параметры эффективности и безопасности обеззараживания питьевой воды хлором в разные годы, показал, что после завершения процесса обеззараживания питьевой воды остаточный свободный хлор должен содержаться в пределах 0,3–0,5 мг/л через 30 мин контакта или остаточный связанный хлор – в пределах 0,8–1,2 мг/л через 60 мин контакта. При одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора их общая концентрация не должна превышать 1,2 мг/л. При анализе данных производственного контроля питьевой воды в г. Перми, где применялась хлораммонизация, установлено, что содержание только остаточного связанного хлора на уровне 1,04–1,44 мг/л обеспечивает высокую эффективность обеззараживания воды по микробиологическим показателям. На примере водопроводных сооружений гг. Нижний Тагил и Куритиба подтверждено, что при обеззараживании воды диоксидом хлора в дозах 0,3 и 0,4 мг/л новые опасные хлорорганические соединения не образовывались, но в обеззараженной питьевой воде присутствовали остаточные количества диоксида хлора, а также хлорит- и хлорат-анионы. *Заключение.* Эти показатели целесообразно внести в нормативные документы для контроля за безопасным применением диоксида хлора для обеззараживания воды.

**Ключевые слова:** обеззараживание воды, хлорсодержащие средства, хлор, гипохлориты, диоксид хлора, хлорирование, требования к контролю, остаточный свободный и связанный хлор.

**Для цитирования:** Жолдакова З.И., Синицына О.О., Мамонов Р.А., Лебедь-Шарлевич Я.И., Печникова И.А. Совершенствование требований к контролю за применением хлорсодержащих средств обеззараживания воды // Здоровье населения и среда обитания. 2019. № 12 (321). С. 30–35. DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-321-12-30-35>

### Improvement of monitoring requirements over the application of chlorine-containing agents for water decontamination

Z.I. Zholdakova<sup>1</sup>, O.O. Sinitsyna<sup>2</sup>, R.A. Mamonov<sup>1</sup>, Ya.I. Lebed-Sharlevich<sup>1</sup>, I.A. Pechnikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Russian Ministry of Health,  
Bldg 1, 10 Pogodinskaya Street, Moscow, 119121, Russian Federation

<sup>2</sup>F.F. Erisman Federal Scientific Centre of Hygiene of Rospotrebnadzor,  
2 Semashko Street, Mytishchi, Moscow Region, 141014, Russian Federation

**Abstract:** *Introduction.* Oxidizing methods are most widely used for water disinfection with such reagents as chlorine, chlorine dioxide, sodium, and calcium hypochlorite. However, the regulatory instruments of the sanitary and epidemiologic legislation do not fully reflect the requirements for monitoring of their use. *Materials and methods.* We analyzed the research, regulatory and methodological literature concerning water disinfection issues in the process of water treatment and the parameters of water disinfection efficiency as well as the quality of drinking water of three water treatment stations based on production control data (Perm, Russia) and the results of own research (the towns of Nizhny Tagil (Russia) and Curitiba (Brazil)). *Results.* A comparative analysis of regulatory documents governing the parameters of the efficacy and safety of drinking water disinfection with chlorine in different years showed that, after the completion of the disinfection process of drinking water, residual free chlorine should be kept within 0.3–0.5 mg/L after 30 minutes of contact or residual bound chlorine – within 0.8–1.2 mg/L after 60 minutes of contact. With the simultaneous presence of free and bound chlorine in water, their total concentration should not exceed 1.2 mg/L. When analyzing the production control data for drinking water in the city of Perm, where chloramination was used for water treatment, we established that the concentration range of 1.04–1.44 mg/L of only the residual bound chlorine ensured high efficiency of water disinfection according to microbiological indicators. The examples of water treatment plants in the towns of Nizhny Tagil and Curitiba demonstrated that water treatment with 0.3 and 0.4 mg/L of chlorine dioxide formed no new dangerous organochlorine compounds but the disinfected drinking water contained residual amounts of chlorine dioxide, as well as chlorite and chlorate anions. *Conclusion:* These indicators should be included in the regulatory documents to monitor the safe use of chlorine dioxide for water disinfection.

**Key words:** water disinfection, chlorine-containing agents, chlorine, hypochlorite, chlorine dioxide, chlorination, monitoring requirements, free and bound residual chlorine.

**For citation:** Zholdakova ZI, Sinitsyna OO, Mamonov RA, Lebed-Sharlevich YaI, Pechnikova IA. Improvement of monitoring requirements over the application of chlorine-containing agents for water decontamination. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2019; 12(321): 30–35. (In Russian) DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2019-321-12-30-35>

**Information about the authors:** Zholdakova Z.I., <http://orcid.org/0000-0001-5658-623X>; Sinitsyna O.O., <http://orcid.org/0000-0002-0241-0690>.

**Введение.** Одной из основных задач коммунального водоснабжения является создание барьера на пути возможной передачи кишечных инфекций через воду путем ее обеззараживания. Как известно, из существующих ныне практических методов обеззараживания воды, разделяемых на реагентные (с помощью окислителей, ионов металлов — меди, серебра и др.) и безреагентные (термический, ультразвуковой, УФ-облучение, радиоактивное излучение), наиболее широко применяют окислительную дезинфекцию воды. В качестве окислителей используют хлор, диоксид хлора, гипохлорит натрия и кальция, а также озон, реже пероксид водорода, перманганат калия и др. [11, 14, 16].

Наши исследования показали [10, 13], что все применяемые методы обеззараживания имеют как положительные, так и отрицательные стороны. В табл. 1 представлена сравнительная оценка некоторых химических окислителей, используемых для обеззараживания воды.

К главным недостаткам хлора и его соединений относятся: нарушение органолептических свойств воды, возможное аллергенное действие, а также способность вызывать образование опасных галогенсодержащих соединений [2, 3, 5, 17, 18]. Поэтому при водоподготовке применяют технологические [8] и химические методы предупреждения или снижения образования галогенорганических соединений [1], в том числе хлораммонизацию.

Тем не менее хлорирование воды широко распространено во всем мире благодаря достаточно высокой надежности бактерицидного действия, возможности простого оперативного контроля за процессами обеззараживания, экономичности, простоте конструктивного оформления и возможности получения дезинфицирующего реагента в готовом виде [5, 11].

Однако, принимая во внимание главные недостатки газообразного хлора и гипохлоритов, с конца прошлого века во многих западных странах

применяется диоксид хлора. Уже в конце 1990-х годов в США существовало примерно 500 хлор-диоксидных станций, в Италии с использованием диоксида хлора обрабатывалось более  $10^9 \cdot \text{м}^3/\text{год}$  воды, во Франции питьевая вода обрабатывалась с применением диоксида хлора для населения общей численностью 10,5 млн человек. В России по-прежнему предпочтение отдают хлору, его производным и озону. Диоксид хлора находит применение на отдельных станциях водоподготовки.

Вместе с тем в действующем СанПиН 2.1.4.074–01<sup>1</sup> не в полной мере отражены требования к контролю за применением хлорсодержащих средств обеззараживания воды.

**Цель работы** — обосновать целесообразность уточнения требований к контролю за эффективностью и безопасностью обеззараживания питьевой воды при применении хлорсодержащих реагентов.

**Материалы и методы.** Применен метод анализа научно-исследовательской, нормативной и методической литературы, касающейся вопросов обеззараживания воды в процессе водоподготовки и параметров эффективности обеззараживания воды.

Проведены анализ и оценка результатов контроля качества питьевой воды из источника водоснабжения г. Перми (Чусовские очистные сооружения) и перед подачей в разводящую сеть по данным ООО «НОВОГОР-Прикамье» за период 2016–2017 гг., в котором обеззараживание осуществлялось методом хлорирования.

В натурных условиях (г. Нижний Тагил) была проведена гигиеническая оценка влияния диоксида хлора на состав химических веществ в обработанной воде (вводимая доза диоксида хлора составила 0,3 мг/л).

Исследования проведены также в натурных условиях на действующей станции водоподготовки в Бразилии (г. Куритиба), где для первичного обеззараживания применялся диоксид хлора в дозе 0,4 мг/л.

**Таблица 1.** Сравнительная оценка средств обеззараживания воды различной химической структуры

**Table 1.** Comparative evaluation of water disinfection agents of different chemical structure

| Критерии/Criteria                                                                                                                                                   | Хлор газообразный/<br>Chlorine gas | Гипохлориты/<br>Hypochlorite | $\text{ClO}_2$                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Острая токсичность (ГОСТ/GOST 12.1.1007–76)/<br>Acute toxicity                                                                                                      | 1 класс/Class 1                    | 4 класс/Class 4              | 3 класс/Class 3                                                  |
| Сенсибилизирующая активность (аллергизация)/<br>Sensitizing effect                                                                                                  | да/yes                             | да/yes                       | нет/no                                                           |
| Образование галогенорганических соединений/<br>Formation of organohalogen compounds                                                                                 | да/yes                             | да/yes                       | нет/no                                                           |
| Эффективность в отношении вирусов/Efficiency<br>against viruses                                                                                                     | да/yes                             | да/yes                       | да (в меньших концентрациях)/<br>yes (in smaller concentrations) |
| Остаточное бактериостатическое действие/<br>Residual bacteriostatic effect                                                                                          | да/yes                             | да/yes                       | да/yes                                                           |
| Зависимость обеззараживающего действия от<br>pH воды и содержания аммиака/Dependence of<br>the disinfecting effect on the pH of water and the<br>content of ammonia | да/yes                             | да/yes                       | нет/no                                                           |
| Возможность применения в промышленных<br>масштабах/Industrial applicability                                                                                         | да/yes                             | да/yes                       | да/yes                                                           |
| Наличие доступного и селективного метода<br>определения в воде/Availability of an affordable<br>and selective method of determination in water                      | да/yes                             | да/yes                       | да/yes                                                           |

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.4.074–01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26.09.2001 № 24 (ред. от 28.06.2010)). М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2002.

Содержание летучих и полуметучих органических соединений в пробах воды определяли методом ионной хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (ГХ-МС). Анализ проводили на химическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова (доктор химических наук, профессор А.Т. Лебедев).

Концентрацию диоксида хлора в воде определяли методом ионной хроматографии в соответствии с ГОСТ Р 56999–2016<sup>2</sup>, хлоритов и хлоратов – в соответствии с НДП 10.1:2.4.67–00<sup>3</sup>.

**Результаты исследования.** При введении хлора в воду происходит его гидролиз с образованием хлорноватистой кислоты, диссоциирующей далее в зависимости от pH до гипохлорит-иона [5, 6, 14, 15]. Хлор, находящийся в растворе в виде хлорноватистой кислоты и гипохлорит-иона, называют свободным активным хлором.

При хлорировании воды, не содержащей аммиак или другие азотсодержащие соединения, с увеличением количества внесенного в воду хлора возрастает содержание в ней остаточного свободного хлора.

Но картина меняется при наличии в воде аммиака, аммонийных солей и других азотсодержащих соединений, которые являются составной частью природной воды или искусственно вносятся в нее. При этом хлор и хлорные агенты взаимодействуют с присутствующим в воде аммиаком, аммонийными и органическими солями, содержащими аминогруппы. Это приводит к образованию моно- и дихлораминов, а также чрезвычайно нестойких трихлораминов [9, 14, 15]. Хлорамины представляют собой связанный активный хлор, обладающий бактерицидным действием, которое в 25–100 раз слабее, чем у свободного хлора.

Хлорирование с аммонизацией приводит не только к достижению эффекта обеззараживания воды, но и к одновременному предупреждению ухудшения ее органолептических свойств, а в некоторых случаях и к их улучшению, а также к уменьшению образования галогенорганических

соединений. Эффект обеззараживания воды обусловлен более низким окислительно-восстановительным потенциалом связанного активного хлора [1, 12, 15, 18]. Одновременно имеются данные об образовании других побочных продуктов, в том числе галогенкетонов, хлорпикрина, хлорциана, галогенуксусных кислот, галогенацетонитрилов, альдегидов, йодированных и бромированных побочных продуктов обеззараживания [19, 26].

Кроме того, установлено, что при использовании хлораминового метода дезинфекции увеличивается содержание в питьевой воде гидразина, нитритов [4], а также высокоопасного N-нитрозодиметиламина [21, 23], в особенности при использовании в водоподготовке поли(диметиламмония хлорида) в качестве флокулянта [24].

Контроль за эффективностью и безопасностью обеззараживания питьевой воды с применением хлорирования и аммонизации осуществляется по содержанию остаточного свободного и связанного хлора, а также по их суммарному содержанию. В табл. 2 представлены требования и рекомендации, изложенные в литературе и нормативных документах с 1973 по 2001 г.

Сравнительный анализ нормативных документов, регламентирующих параметры эффективности и безопасности обеззараживания питьевой воды хлором в разные годы, показал, что на определенном этапе их актуализации, а именно при создании первого СанПиН 2.1.4.559–96, были исключены положения о том, что их количественными показателями является не обязательное одновременное присутствие свободного и связанного остаточного хлора в указанных количествах, а наличие либо той или иной формы остаточного хлора в требуемых пределах, либо их одновременное присутствие в суммарной концентрации не более 1,2 мг/л. Это означает, что после завершения процесса обеззараживания питьевой воды содержание остаточного свободного хлора должно находиться в пределах 0,3–0,5 мг/л через 30 мин контакта,

**Таблица 2. Требования и рекомендации нормативных и справочных документов, регламентирующих параметры эффективности и безопасности хлорирования питьевой воды**

**Table 2. Requirements and recommendations of regulatory and reference instruments regulating the parameters of efficiency and safety of the drinking water chlorination**

| Источник/References                                                 | Концентрация остаточного активного хлора, мг/л/ Concentrations of residual active chlorine, mg/L |                 |                                                |                 |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------|-----------------|
|                                                                     | Свободный/Free                                                                                   | Уточнение/Notes | Связанный/Bound                                | Суммарный/Total |
| Руководство по гигиене водоснабжения [15]/ Water Hygiene Guidelines | 0,3–0,5                                                                                          | Или/or          | 0,8–1,2                                        | –               |
| ГОСТ/GOST 2874–73 <sup>4</sup>                                      | 0,3–0,5                                                                                          | Или/or          | 0,8–1,2                                        | –               |
| ГОСТ/GOST 2874–82 <sup>5</sup>                                      | Если свободный/If free<br>Cl > 0,3:<br>0,3–0,5                                                   | –               | Если свободный/If free<br>Cl < 0,3:<br>0,8–1,2 | –               |
| СанПиН/SanPiN 2.1.4.559–96 <sup>6</sup>                             | 0,3–0,5                                                                                          | –               | 0,8–1,2                                        | ≤ 1,2           |
| СанПиН/SanPiN 2.1.4.1074–01                                         | 0,3–0,5                                                                                          | –               | 0,8–1,2                                        | ≤ 1,2           |

<sup>2</sup> ГОСТ Р 56999–2016 «Дезинфектология и дезинфекционная деятельность. Химические дезинфицирующие средства и антисептики. Метод определения диоксида хлора в питьевой воде». Введ. 30.06.2016. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с.

<sup>3</sup> НДП 10.1:2.4.67–00 «Методика выполнения измерений концентраций анионов хлоритов и хлоратов методом ионной хроматографии в питьевых, природных водах и технологических растворах (с изменениями № 1, 2). ФР.1.31.2013.13991. Введ. 25.10.2000. М.: ЗАО «РОСА», 2000.

<sup>4</sup> ГОСТ 2874–73 «Вода питьевая. Методы анализа». Введ. 01.01.1975. М.: Изд-во стандартов, 1976. 8 с.

<sup>5</sup> ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством». Введ. 01.01.1985. М.: Изд-во стандартов, 1982. 8 с.

<sup>6</sup> СанПиН 2.1.4.559–96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 24.10.1996 № 26). М.: Информационно-издательский центр Госсанэпиднадзора России, 1996.

или содержание остаточного связанного хлора должно составлять 0,8–1,2 мг/л через 60 мин контакта. При одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора их общая концентрация не должна превышать 1,2 мг/л.

В четвертой редакции Руководства по обеспечению качества питьевой воды ВОЗ [9] имеются рекомендации, согласно которым для эффективной дезинфекции необходимо, чтобы остаточная концентрация свободного хлора перед подачей в распределительную сеть находилась на уровне  $\geq 0,5$  мг/л после как минимум 30-минутного контакта с водой при  $\text{pH} < 8,0$ . Минимальная остаточная концентрация свободного хлора в точке доставки должна составлять 0,2 мг/л. Количественные рекомендации, касающиеся содержания связанного остаточного хлора в питьевой воде, отсутствуют, за исключением допустимой концентрации монохлорамина 3 мг/л по влиянию на здоровье.

Указанная неточность формулировки вызывает спорные ситуации в ряде регионов Российской Федерации, касающиеся допустимого содержания различных форм остаточного хлора (свободный, связанный, суммарный) при хлорировании и аммонизации.

Например, в Пермском крае у водопользователя (ООО «Новогор-Прикамье») и контролирующих органов не совпадало мнение о нормативах одновременного содержания остаточного свободного и связанного активного хлора в питьевой воде, подготовленной на Чусовских очистных сооружениях с применением преаммонизации. Так, по данным ООО «Новогор-Прикамье», концентрации остаточного свободного активного хлора в питьевой воде на выходе из Чусовских очистных сооружений определялись в сотых мг/л, что значительно ниже требуемого СанПиН 2.1.4.1074–01 значения. Остаточный связанный активный хлор определяли на уровне 1,04–1,44 мг/л, что практически не отличается от норматива 1,2 мг/л. При этом наблюдалась высокая эффективность обеззараживания воды по микробиологическим показателям, что свидетельствует об отсутствии необходимости поддержания концентрации остаточного свободного хлора на уровне 0,3–0,5 мг/л при наличии остаточного связанного хлора в пределах 0,8–1,2 мг/л.

Учитывая имеющееся в СанПиН 2.1.4.1074–01 противоречие, можно заключить, что питьевая вода Чусовских очистных сооружений по этим показателям соответствует требованиям безопасности.

Таким образом, целесообразно внести изменения в новую редакцию санитарных правил, регламентирующих гигиенические требования к качеству воды централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, указав, что показателем эффективности и безопасности обеззараживания питьевой воды служит содержание остаточного свободного хлора в пределах 0,3–0,5 мг/л через 30 мин контак-

та или содержание остаточного связанного хлора в пределах 0,8–1,2 мг/л через 60 мин контакта. При одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора их общая концентрация не должна превышать 1,2 мг/л.

Но хлораммонизацию нельзя рассматривать как безопасную альтернативу хлорированию. В связи с этим все шире применяется диоксид хлора, который существенно снижает вероятность образования галогенсодержащих соединений [20, 25], поскольку в отличие от хлора он не вступает в реакции замещения (хлорирования) с примесями, содержащимися в воде, а только в реакции окисления [7]. Результатом окислительных реакций диоксида хлора с компонентами воды являются продукты его восстановления — хлориты, хлориды и незначительное количество хлоратов в результате реакции диспропорционирования диоксида хлора. В зависимости от качества воды от 50 до 70 % диоксида хлора превращается в хлорит-ион [22], который также является окислителем.

При внесении в воду диоксид хлора он оказывает двойное действие: бактерицидное и вирулицидное в форме  $\text{ClO}_2$ , бактериостатическое и слабое бактерицидное в форме хлорит-аниона  $\text{ClO}_2^-$ . Как бактерицидный агент он может оставаться активным в течение 48 ч, и его эффективность гарантируется в течение более длительных периодов, чем у хлора.

По данным ВОЗ, рекомендуемая концентрация диоксида хлора в питьевой воде не устанавливается в связи с его быстрым распадом и переходом в хлорит- и хлорат-анионы. ВОЗ рекомендует временную величину суммы хлоритов и хлоратов в воде — 0,7 мг/л [9]. Однако проведенные нами исследования на водопроводной станции в г. Нижнем Тагиле показали, что после внесения диоксида хлора в дозе 0,3 мг/л его остаточная концентрация через 10 мин контакта составляла  $0,132 \pm 0,052$  мг/л, концентрация хлорит-аниона —  $0,077 \pm 0,017$  мг/л, хлорат-аниона —  $0,132 \pm 0,025$  мг/л. При последовательном применении жидкого хлора и диоксида хлора в дозе 0,2 мг/л остаточное содержание диоксида хлора через 50 мин контакта определяли на уровне  $0,077 \pm 0,03$  мг/л, хлорит-аниона —  $0,03 \pm 0,007$  мг/л, хлорат-аниона —  $0,134 \pm 0,025$  мг/л.

Поэтому контроль за применением диоксида хлора должен осуществляться по трем веществам: диоксиду хлора, хлорит-аниону и хлорат-аниону, однако в СанПиН 2.1.4.1074–01 отсутствуют показатели для контроля при использовании этого метода обеззараживания. В России установлены следующие ПДК в воде: диоксид хлора — 0,3 мг/л, санитарно-токсикологический показатель вредности, 3 класс опасности<sup>7</sup>; хлорит-анион — 0,2 мг/л, санитарно-токсикологический показатель вредности, 3 класс опасности; хлорат-анион — 20 мг/л, органолептический (привкус) лимитирующий показатель вредности, 3 класс опасности<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> О внесении изменений в ГН 2.1.5.1315–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», введенные в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30.04.2003 № 78: Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 13.07.2017 № 97.

<sup>8</sup> Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: ГН 2.1.5.1315–03 (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30.04.2003 № 78). М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава РФ, 2003. 154 с.

В связи с этим в новую редакцию санитарных правил необходимо включить эти показатели.

В табл. 3 представлены данные о содержании органических соединений в пробах воды до и после обеззараживания диоксидом хлора на станциях водоподготовки в гг. Нижний Тагил и Куритиба (Бразилия).

Как видно из табл. 3, в случае обработки воды диоксидом хлора в дозе 0,3 мг/л (г. Нижний Тагил) и в дозе 0,4 мг/л (г. Куритиба) количество галогенсодержащих соединений не увеличилось, новые опасные вещества не образовались, а концентрации веществ, относящихся к ряду химических групп (алканы, кислоты и их эфиры, алкилфураны), снизились от 2,5 до 6 раз. Особенно важно, что в г. Нижнем Тагиле уменьшилось содержание высокоопасных полициклических ароматических углеводородов и фталатов.

Таким образом, обеззараживание воды диоксидом хлора не приводит к повышению опасности потребления питьевой воды по критерию химического загрязнения.

#### Выводы

1. Поскольку при хлорировании и хлораммонизации воды вероятность образования новых опасных химических веществ значительно выше, чем при применении диоксида хлора, целесообразно при прочих равных условиях отдавать предпочтение этому методу обеззараживания.

2. В пункт, касающийся содержания вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения, новой редакции санитарных правил, регламентирующих гигиенические требования к качеству воды централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, по нашему мнению, целесообразно внести следующее дополнение: «При обеззараживании воды хлором концентрация остаточного свободного хлора должна находиться в пределах 0,3–0,5 мг/л, или содержание остаточного связанного хлора – в пределах 0,8–1,2 мг/л. При

одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора их общая концентрация не должна превышать 1,2 мг/л».

3. Новую редакцию санитарных правил необходимо дополнить следующими показателями и их нормативами: диоксид хлора – 0,3 мг/л, санитарно-токсикологический показатель вредности, 3 класс опасности; хлорит-анион – 0,2 мг/л, санитарно-токсикологический показатель вредности, 3 класс опасности; хлорат-анион – 20 мг/л, органолептический (привкус), лимитирующий показатель вредности, 3 класс опасности.

#### Список литературы (пп. 17–26 см. References)

1. Алексеева Л. П. Снижение концентрации хлорорганических соединений, образующихся в процессе подготовки питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 9. С. 27–34.
2. Жолдакова З.И., Полякова Е.Е., Лебедев А.Т. Сравнительная оценка опасности веществ промышленного происхождения и их производных, образующихся при хлорировании воды // Вестник Российской академии медицинских наук. 2006. № 4. С. 17–22.
3. Жолдакова З.И., Харчевникова Н.В., Полякова Е.Е., Синикова Н.А., Лебедев А.Т. Экспериментальная оценка и прогноз образования хлорорганических соединений при хлорировании воды, содержащей промышленные загрязнения // Гигиена и санитария. 2002. № 3. С. 26–29.
4. Колесникова О.О., Бирзул А.Н., Пителик Д.А. Моделирование образования гидразина в системах водоснабжения // Материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ «Новые идеи нового века», 20–25 февраля, 2017. Хабаровск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет», 2017. Т. 3. С. 243–249. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nionc.pnu.edu.ru/media/nionc/articles-2017/243-249.pdf> (дата обращения: 22.01.2019).
5. Мифтахова К.Р., Пьянкова О.Г., Рудакова Л.В., Глушанкова И.С. Хлорирование как основной метод обеззараживания питьевой воды // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. 2015. Т. 1. С. 233–242.
6. Муллина Э.Р. Химические аспекты процесса хлорирования воды // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12 (ч. 4). С. 609–613.

Таблица 3. Содержание органических соединений в пробах воды до и после обеззараживания диоксидом хлора (станции водоподготовки в гг. Нижний Тагил и Куритиба (Бразилия))

Table 3. The content of organic compounds in water samples before and after disinfection with chlorine dioxide (water treatment plants in Nizhny Tagil and Curitiba (Brazil))

| Группа соединений/<br>Group of compounds                                      | Концентрация, мкг/л (число веществ)/Concentration, µg/L (no. of chemicals) |                                                    |                                    |                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                                                               | г. Нижний Тагил/Nizhny Tagil                                               |                                                    | г. Куритиба/Curitiba               |                                                    |
|                                                                               | Исходная вода/<br>Before treatment                                         | После ClO <sub>2</sub> /<br>After ClO <sub>2</sub> | Исходная вода/<br>Before treatment | После ClO <sub>2</sub> /<br>After ClO <sub>2</sub> |
| Σ галогенсодержащие соединения/<br>halogen compounds:                         | 7,31 (9)                                                                   | 6,53 (8)                                           | 0,324 (16)                         | 0,348 (10)                                         |
| Σ алканов/alkanes                                                             | 37,6 (32)                                                                  | 6,8 (24)                                           | 13,97 (61)                         | 12,69 (62)                                         |
| Σ кислот и эфиров/acids and esters                                            | 27,5 (31)                                                                  | 10,6 (26)                                          | 13,27 (33)                         | 8,48 (34)                                          |
| Σ спиртов и эфиров/alcohols and ethers                                        | 36,0 (32)                                                                  | 54,9 (28)                                          | 1,53 (12)                          | 1,47 (12)                                          |
| Σ кетонов/ketones                                                             | 0,5 (3)                                                                    | 0,7 (5)                                            | 1,69 (11)                          | 0,49 (10)                                          |
| Σ альдегидов/aldehydes                                                        | 0,8 (3)                                                                    | 0,9 (3)                                            | 18,46 (17)                         | 3,83 (16)                                          |
| Σ алкилароматических веществ/alkyl<br>aromatic compounds                      | 18,4 (13)                                                                  | 18,4 (14)                                          | 1,74 (24)                          | 1,83 (24)                                          |
| Σ алкилфуранов/alkyl furans                                                   | –                                                                          | –                                                  | 0,25 (2)                           | 0,04 (1)                                           |
| Σ нафтонов/naphthenes                                                         | 46,1 (8)                                                                   | 33,8 (9)                                           | 3,91 (11)                          | 3,06 (11)                                          |
| Σ фталатов/phthalates                                                         | 28,4 (13)                                                                  | 10,4 (8)                                           | 12,76 (7)                          | 10,22 (7)                                          |
| Σ полициклические ароматические сое-<br>динения/polycyclic aromatic compounds | 2,5 (5)                                                                    | 1,1 (5)                                            | 0,47 (12)                          | 0,41 (20)                                          |
| Σ прочих соединений/other compounds                                           | (27)                                                                       | (19)                                               | (24)                               | (25)                                               |
| Итого соединений/Total compounds                                              | (176)                                                                      | (149)                                              | (230)                              | (232)                                              |

7. Петренко Н.Ф., Мокиенко А.В. Диоксид хлора: применение в технологиях водоподготовки. Одесса: Изд-во «Optimum», 2005. 486 с.
8. Рахманин Ю.А., Жолдакова З.И., Полякова Е.Е., Кирынова Л.Ф. и др. Совместное применение активного хлора и коагулянтов для очистки и обеззараживания питьевой воды // Гигиена и санитария. 2004. № 1. С. 6–9.
9. Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2017. 604 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.wspportal.org/wp-content/uploads/2017/09/9789244548158-rus.pdf> (дата обращения: 21.01.2019).
10. Синицына О.О., Тульская Е.А., Жолдакова З.И. Сравнительная оценка методов обеззараживания питьевой воды: хлор, гипохлорит натрия, диоксид хлора // Материалы II Межгосударственного форума государств – участников Содружества независимых государств «Здоровье населения – основа процветания стран содружества (раздел «Влияние окружающей среды на здоровье населения государств-участников СНГ»», 29–31 мая, 2013. М., 2013. С. 163–166.
11. Соколов В.Д., Низковских В.М. Применение концентрированного гипохлорита натрия для обеззараживания воды при водоподготовке // Водоочистка. 2018. № 8. С. 20–22.
12. Трошкова Е.А., Жукова В.Я., Алексеев С.Е. Применение сульфата аммония в системе водоподготовки Метелевских водоочистных сооружений г. Тюмени // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 6. С. 16–24.
13. Тульская Е.А., Жолдакова З.И., Мамонов Р.А. Научное обоснование гигиенических критериев санитарно-эпидемиологической оценки средств обеззараживания воды // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 6. С. 13–17.
14. Хохрякова Е.А. Современные методы обеззараживания питьевой воды. М.: Издательский Центр «Аква-Терм», 2014. 55 с.
15. Черкинский С.Н., Беляев И.И., Габович Р.Д. Руководство по гигиене водоснабжения / Под ред. С.Н. Черкинского. М.: Медицина, 1975. 328 с.
16. Четвергова Ю.С., Чашина Е.В. Выбор оптимального метода обеззараживания при водоподготовке // Материалы Международной научно-практической конференции «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017)», 05 июня, 2017, г. Омск. М.: ЛИТЕРА, 2017. С. 311–312.
17. Sinityna OO, Tulskaia EA, Zholdakova ZI. Comparative evaluation of drinking water disinfection methods: chlorine, sodium hypochlorite, chlorine dioxide. *Materialy II Mezhdunarodnogo foruma gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva nezavisimykh gosudarstv* «Zdorov'e naseleniya – osnova protsvetaniya stran sodruzhestva (razdel "Vlianiye okruzhayushchei sredy na zdorov'e naseleniya gosudarstv-uchastnikov SNG")», 29–31 maya, 2013. Moscow, 2013. P. 163–166 (in Russian).
18. Sokolov VD, Nizkovskikh VM. Use of concentrated sodium hypochlorite for water disinfection in water treatment. *Vodoochistka*. 2018; 8:20–22 (in Russian).
19. Troshkova EA, Zhukova VYa, Alekseev SE. Use of ammonium sulfate in the water treatment system of the Metelevisky water treatment plant in Tyumen. *Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2014; 6:16–24 (in Russian).
20. Tulskaia EA, Zholdakova ZI, Mamonov RA. Scientific substantiation of hygienic criteria for sanitary and epidemiological assessment of water disinfectants. *Gigiena i sanitariya*. 2014; 6(93):13–17 (in Russian).
21. Khokhryakova EA. Modern methods of drinking water disinfection. Moscow: Akva-Term Publ., 2014, 55 p. (in Russian).
22. Cherkinskii SN, Belyaev II, Gabovich RD. Water Hygiene Guide. In: S.N. Cherkinskii ed. Moscow: Meditsina Publ., 1975, 328 p. (in Russian).
23. Chetvergova YuS, Chashchina EV. Selection of the optimal method of disinfection during water treatment. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Vsemirnyi den" okhrany okruzhayushchei sredy (Ekologicheskie chteniya – 2017)"*, 05 iyunya, 2017, g. Omsk. Moscow: LITERA Publ., 2017, pp. 311–312 (in Russian).
24. Environmental Health Criteria 216. Disinfectants and disinfectant by-products. Geneva: World Health Organization, 2000. 529 p. Available at: [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42274/WHO\\_EHC\\_216.pdf?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42274/WHO_EHC_216.pdf?sequence=1) (accessed: 22.01.2019).
25. Foss GM. The use of chloroamines – past, present and future. *J N Engl Water Works Assoc*. 1990; 104(2):146–148.
26. Hu S, Gong T, Xian Q, et al. Formation of iodinated trihalomethanes and haloacetic acids from aromatic iodinated disinfection byproducts during chloramination. *Water Res*. 2018; 147:254–263. DOI: 10.1016/j.watres.2018.09.058
27. Padhi RK, Subramanian S, Satpathy KK. Formation, distribution, and speciation of DBPs (THMs, HAAs, ClO<sub>2</sub>, and ClO<sub>3</sub>) during treatment of different source water with chlorine and chlorine dioxide. *Chemosphere*. 2019; 218: 540–550. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.100
28. Piazzoli A, Breider F, Aquillon CG, et al. Specific and total N-nitrosamines formation potentials of nitrogenous micropollutants during chloramination. *Water Res*. 2018; 135:311–321. DOI: 10.1016/j.watres.2018.02.019
29. Rougé V, Allard S, Croué JP. In situ formation of free chlorine during ClO<sub>2</sub> treatment: implications on the formation of disinfection byproducts. *Environ Sci Technol*. 2018; 52(22):13421–9. DOI: 10.1021/acs.est.8b04415
30. Selbes M, Beita-Sandi W, Kim D, et al. The role of chloramine species in NDMA formation. *Water Res*. 2018; 140:100–109. DOI: 10.1016/j.watres.2018.04.033
31. Tan S, Jiang S, Li X, et al. Factors affecting N-nitrosodimethylamine formation from poly(diallyldimethylammonium chloride) degradation during chloramination. *R Soc Open Sci*. 2018; 5(8):180025. DOI: 10.1098/rsos.180025
32. Ye B, Cang Y, Li J, et al. Advantages of a ClO<sub>2</sub>/NaClO combination process for controlling the disinfection byproducts (DBPs) for high algae-laden water. *Environ Geochem Health*. 2019. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0231-8> (accessed: 22.01.2019).
33. Zhang H, Yang M, et al. Characterization of brominated disinfection byproducts formed during chloramination of fulvic acid in the presence of bromide. *Sci Total Environ*. 2018; 627:118–124. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.215

### References

1. Alekseeva LP. Reducing the concentration of organochlorine compounds formed during the drinking water treatment process. *Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2009; 9:27–34 (in Russian).
2. Zholdakova ZI, Polyakova EE, Lebedev AT. Comparative hazard assessment for substances of industrial origin and their derivatives formed during the water chlorination. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk*. 2006; 4:17–22 (in Russian).
3. Zholdakova ZI, Kharchevnikova NV, Polyakova EE, et al. Experimental evaluation and prediction of the organochlorine compounds formation during the water chlorination containing industrial pollution. *Gigiena i sanitariya*. 2002; 3:26–29 (in Russian).
4. Kolesnikova OO, Birtzul AN, Pitilyak DA. Modeling hydrazine formation in water supply systems. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii FAD TOGU «Novye idei novogo veka»*, 20–25 fevralya, 2017. Khabarovsk: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Tikhookeanskii gosudarstvennyi universitet» Publ., 2017, vol. 3, pp. 243–249. Available at: <http://nionc.pnu.edu.ru/media/nionc/articles-2017/243-249.pdf> (accessed: 22.01.2019) (in Russian).
5. Miftakhova KR, Pyankova OG, Rudakova LV, et al. Chlorination as the main method of drinking water disinfection. *Ekologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika*. 2015; 1:233–242 (in Russian).
6. Mullina ER. Chemical aspects of the water chlorination process. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016; 12(Pt 4):609–613 (in Russian).
7. Petrenko NF, Mokienko AV. Chlorine dioxide: application in water treatment technologies. Odessa: "Optimum" Publ., 2005, 486 p. (in Russian).
8. Rakhmanin YuA, Zholdakova ZI, Polyakova EE, et al. Combined use of active chlorine and coagulants for cleaning and disinfecting of drinking water. *Gigiena i sanitariya*. 2004; 1:6–9 (in Russian).
9. Guidelines for ensuring the drinking water quality: 4th edition. Zheneva: Vsemirnaya organizatsiya zdoravookhraneniya, 2017, 604 p. Available at: <http://www.wspportal.org/wp-content/uploads/2017/09/9789244548158-rus.pdf> (accessed: 21.01.2019) (in Russian).

### Контактная информация:

Синицына Оксана Олеговна, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, и.о. директора Института комплексных проблем гигиены, главный научный сотрудник, зав. отделом гигиены питьевого водоснабжения и охраны водных объектов, ФГБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора  
e-mail: oxsin66@mail.ru

### Corresponding author:

Oxana Sinityna, Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS, Acting Director of Institute for Comprehensive Hygiene Issues, Chief Researcher, Head of Drinking Water Supply Hygiene and Water Bodies Protection Department, F.F. Erisman Federal Scientific Centre of Hygiene of Rosпотребнадзор  
e-mail: oxsin66@mail.ru