



Хасанова А.А., Четверкина К.В., Маркович Н.И.

Определение приоритетных химических веществ для контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия

Введение. Анализ санитарно-эпидемиологической обстановки в Российской Федерации свидетельствует о проблемах в области безопасности питьевого водопользования, обусловленных в том числе загрязнением питьевой воды химическими веществами. В связи с их большим разнообразием необходимо определение порядка установления приоритетных химических веществ, загрязняющих воду централизованных сетей водоснабжения, с использованием критериев риска.

Материалы и методы. Разработка критериев установления приоритетных химических загрязнений, содержащихся в воде централизованных сетей водоснабжения, проведена на базе анализа релевантной научной литературы и нормативно-методических документов. Для проведения апробации осуществлялся отбор проб питьевой воды на водозаборе и в конечной точке распределительной сети с последующим исследованием образцов методом хромато-масс-спектрометрии.

Результаты. Разработан алгоритм, предусматривающий определение приоритетных химических загрязнений, содержащихся в воде централизованных сетей водоснабжения, по критериям потенциальной опасности и риска для здоровья населения, с использованием результатов химико-аналитических методов исследования. Определены подходы к установлению возможных источников их поступления. По результатам апробации установлено, что из 16 компонентов к потенциально опасным относятся три: 1,1,2,2-тетрахлорэтан, пентадекан и лилиал. При этом пентадекан поступает из водоисточника, но устраняется в процессе водоподготовки, а наличие 1,1,2,2-тетрахлорэтана и лилиала наиболее вероятно обусловлено процессами водоподготовки и транспортировки воды по водопроводной сети.

Заключение. Предложено 6 критериев для определения приоритетных химических веществ, основанных на анализе соответствия гигиеническим нормативам, особенностей влияния исследуемого химического вещества на окружающую среду и организм человека, наличия вредных эффектов для человека и/или животных, возможных механизмов развития нарушений состояния здоровья и приемлемости формируемого риска. В ходе апробации их использования установлено 3 приоритетных вещества, которые могут быть рекомендованы для контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения.

Ключевые слова: риск для здоровья; приоритетные химические вещества; централизованные сети водоснабжения

Для цитирования: Хасанова А.А., Четверкина К.В., Маркович Н.И. Определение приоритетных химических веществ для контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (5): 428-435. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435>

Для корреспонденции: Хасанова Анна Алексеевна, науч. сотр. отд. анализа риска для здоровья ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: KhasanovaAA@inbox.ru

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Хасанова А.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Четверкина К.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование; Маркович Н.И. — концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Поступила 01.03.2021 / Принята к печати 18.05.2021 / Опубликована 15.06.2021

Anna A. Khasanova, Kristina V. Chetverkina, Nina I. Markovich

Determination of priority chemicals of water from centralized supply systems for monitoring water safety

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation

Introduction. The analysis of the sanitary and epidemiological situation in the Russian Federation indicates problems in the field of drinking water safety, caused, among other things, by chemical contamination. Due to the wide variety of pollutants, it is necessary to determine the procedure for identifying priority chemical pollutants from the water from centralized supply systems, using health risk criteria.

Materials and methods. The analysis of relevant scientific literature and regulatory and methodological documents formed the basis for developing criteria for determining priority chemical pollutants contained in the water from centralized supply systems. A sampling of drinking water was carried out at the start point (water intake) and the endpoint of the distribution network (water tap). The selected water samples were examined using the chromatography-mass spectrometry method.

Results. An algorithm for determining the priority chemicals in the water of centralized water supply systems according to the potential hazard and health risk criteria has been developed. Approaches to the identification of possible sources of chemical water pollutants from centralized supply systems were established. According to the results of testing, it was found that three of the 16 chemical water components are potentially dangerous: 1,1,2,2-tetrachloroethane, pentadecane, and linal. The presence of pentadecane comes from a water source. Still, it should have eliminated water treatment. The presence of 1,1,2,2-tetrachloroethane and linal is most likely due to water treatment and water transportation processes through the water supply systems.

Conclusion. There are six criteria for determining priority chemical pollutants from the water from centralized supply systems based on hygiene standards compliance, an impact of the chemicals on the environment and the human health, the presence of harmful effects for humans and/or animals, implementation of possible mechanisms for the development of human health disorders and the acceptability of the risk level were proposed. There were identified three priority pollutants in the water from centralized supply systems that can be recommended for further monitoring.

Keywords: health risk; priority chemicals; centralized water supply systems

For citation: Khasanova A.A., Chetverkina K.V., Markovich N.I. Determination of priority chemicals of water from centralized supply systems for monitoring water safety. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2021; 100 (5): 428-435. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435> (In Russ.)

For correspondence: Anna A. Khasanova, researcher of health risk analysis department, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russia. E-mail: KhasanovaAA@inbox.ru

Information about authors:

Khasanova A.A., <https://orcid.org/0000-0001-7438-0358>
Chetverkina K.V., <https://orcid.org/0000-0002-1548-228X>
Markovich N.I., <https://orcid.org/0000-0002-5596-4611>

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution of the authors: Khasanova A.A. — the concept and design of the study, the collection and processing of the material, text writing and editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Chetverkina K.V. — research concept, study design, data collection and processing, text writing, and editing; Markovich N.I. — the concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Received: March 1, 2021 / Accepted: May 18, 2021 / Published: June 15, 2021

Введение

Одним из важнейших экологических факторов среды обитания, влияющих на здоровье населения, является качество питьевой воды, подаваемой с помощью централизованных сетей водоснабжения. Её безопасность определяет ряд факторов, таких как санитарно-гигиеническое состояние водоисточника и места водозабора, эффективность и надёжность работы сооружений по очистке воды, санитарно-техническое состояние водопроводных распределительных сетей и сооружений для хранения воды. Большую роль в снабжении населения безопасной питьевой водой также играет правильная организация системы контроля и надзора за её качеством и безопасностью, позволяющая эффективно и результативно управлять объектами системы централизованного питьевого водоснабжения [1].

Вместе с тем анализ фактической санитарно-эпидемиологической обстановки в Российской Федерации свидетельствует о проблемах в области безопасности питьевого водопользования¹. Связано это в том числе с возросшим антропогенным загрязнением поверхностных водных объектов, недостаточной эффективностью и надёжностью работы водопроводных сооружений, несвоевременным проведением ремонтов и ликвидаций аварий, а также использованием устаревших технологий водоподготовки² [2]. Кроме того, обработка, хранение и распределение питьевой воды также предполагают намеренное внесение ряда химических веществ для повышения её безопасности и качества.

В свою очередь загрязнение питьевой воды химическими веществами может оказать как немедленное воздействие на здоровье, так и представлять опасность при длительной экспозиции³. Например, при дезинфекции хлорсодержащими реагентами воды, содержащей анилин, может образовываться до 12% новых соединений, обладающих мутагенной или онкогенной активностью, и до 11% подобных соединений — при дезинфекции озонной водой, содержащей толуол [3]. Такие обстоятельства, с одной стороны, являются предпосылкой к стремлению расширить перечни контролируемых в воде веществ, а с другой стороны, неограниченное увеличение объёма аналитических исследований может привести к чрезмерным затратам сил и средств, неадекватных возможностям контролирующей службы [4]. В связи с этим необходимо определение порядка выбора и установления приоритетных химических веществ для первоочередного контроля при оценке и обеспечении безопасности питьевой воды, что позволит сосредоточить усилия на достаточном минимуме с учётом местных особенностей санитарной ситуации и водопроводной системы.

Используемая ранее схема формирования перечней приоритетов, предусматривала выбор веществ с помощью полуколичественной классификации критериев для пошагового анализа степени их опасности [4]. В настоящее же время наиболее эффективным средством непрерывного обеспечения безопасности системы питьевого водоснабжения является использование методологии оценки риска здоровью населения [5–14]. Это связано с тем, что определение риска для здоровья позволяет установить степень и тенденции влияния факторов окружающей среды на здоровье населения, а также позволяет оценить комбинированное действие нескольких токсикантов и даже нескольких факторов в отличие от использования таких традиционных показателей, как число и кратность превышения гигиенических нормативов [10]. Возможности данной методологии в части определения приоритетных факторов и источников опасности, наиболее вероятных эффектов, оценки интенсивности воздействия и прочего делают этап оценки риска важным элементом общей системы сбора доказательной базы влияния качества среды обитания на нарушения здоровья населения [15]. Таким образом, актуальным является использование процедуры оценки риска при выделении приоритетных химических веществ для обеспечения контроля безопасности питьевой воды, подаваемой с помощью централизованных сетей водоснабжения.

Цель работы — разработать и апробировать методические подходы и алгоритм установления приоритетных по критериям опасности и риска здоровью населения вредных химических веществ для задач контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения.

Материалы и методы

Разработка методических подходов и алгоритма установления приоритетных по критериям опасности и риска здоровью населения опасных химических веществ проведена по результатам анализа, синтеза, сравнения и обобщения существующих в отечественной и международной нормативно-методической базе подходов к определению списков приоритетных химических веществ, загрязняющих питьевую воду. Для достижения поставленной цели проанализировано более 100 релевантных научных источников литературы и методических документов, включающих СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы»⁴, Руководство по обеспечению качества питьевой воды ВОЗ в стратегиях по управлению рисками³, Директиву Европейского парламента и Совета Европейского союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г. [16], рекомендации по выбору приоритетных веществ Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) [17, 18] и ряд других документов. Основные их подходы использованы для создания алгоритма определения приоритетных химических загрязнений.

⁴ Гигиенические требования к охране поверхностных вод: Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.5.980-00. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. 24 с.

¹ Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902173350>

² Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. Женева: ВОЗ, 2017 г. 628 с.

³ Guidelines for drinking-water quality, fourth edition. WHO, 2011. 564 p.

На этапе идентификации всех химических веществ, присутствующих в питьевой воде исследуемой территории, отбор проб проводили в конечной точке водораспределительной сети (водоразборная колонка, внутренний кран в здании хозяйствующего субъекта, квартире жилого дома или на вводе в здание хозяйствующего субъекта). Для установления перечня веществ, содержащихся в отобранных пробах, использовали лабораторные исследования (измерения) качества питьевой воды с применением метрологически аттестованных методик, утверждённых Госстандартом России или Минздравом России.

В процессе реализации алгоритма этап оценки наличия гигиенического норматива и кратности его превышения осуществляли в соответствии с ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Осуществление этапа оценки соответствия содержания химических веществ в воде централизованных сетей водоснабжения критериям риска здоровью населения проводили в соответствии с «Руководством по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (Р 2.1.10.1920-04).

Определение необходимых точек отбора проб для установления вероятных источников поступления вредных химических веществ в воду централизованных сетей водоснабжения проводили в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 «Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения (с изменениями на 2 апреля 2018 г.)».

Апробацию предложенных подходов осуществляли на основе результатов исследований, проведённых сотрудниками ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» и ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». С целью идентификации химических соединений в образцах питьевой воды на одной из сетей водоснабжения Пермского края в весенне-осенний и зимний периоды отобраны и проанализированы 4 пробы воды – две на водозаборе (первый подъём) (№ 1 и № 2) и две (№ 3 и № 4) в конечной точке распределительной водопроводной сети. Далее специалистами отдела химико-аналитических методов исследования ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора выполнены скрининговые исследования образцов методом хромато-масс-спектрометрии. Образцы воды исследованы гибридным методом – газовой хроматографии и масс-спектрометрии (ГХ/МС) на газовом хроматографе Agilent 7890A (USA) с квадрупольным масс-спектрометрическим детектором (MCD) 5975C. Для разделения химических соединений, обнаруженных в образцах, использовали капиллярную колонку серии HP-FFAP 30 m • 0,250 mm • 0,250 длиной 30 м, внутренним диаметром 0,25 мм и толщиной плёнки неподвижной фазы 0,25 µm. Температуру колонки повышали в режиме программирования от 50 до 120 °C со скоростью 8 °C/мин; от 120 до 185 °C со скоростью 12 °C/мин и от 185 до 240 °C со скоростью 25 °C/мин. Температура источника ионов 230 °C. Режим ионизации электронным ударом при 70 эВ.

Масс-спектрометрическое детектирование выполнено в режиме полного сканирования (SCAN), в этих условиях регистрировали масс-спектры, по которым проводили идентификацию компонентов исследуемых образцов воды по совпадению библиотечного и полученного при анализе масс-спектра. Производили непрерывное сканирование масс-спектров от 38 до 500 а.е.м. со скоростью 3,14 scan/sec.

Для расшифровки результатов масс-спектрометрического анализа использованы библиотеки масс-спектральных данных NIST 08.L (около 300 000 масс-спектров), WILEY275.L (около 450 000 масс-спектров) и PMW_TOX2.L для ручной идентификации.

Для автоматической идентификации использованы AMDIS библиотеки (программа Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System (AMDIS) автоматизированный поиск):

- идентификационная база загрязнителей природной среды (US EPA) Американского агентства защиты окружающей среды EPA;
- библиотеки масс-спектров наркотических, лекарственных, токсичных загрязняющих веществ и пестицидов (MassSpectralLibrary of Drugs, NISTTOX, NISTPLUS) (около 300 000 масс-спектров).

На основании использования результатов хроматографирования и масс-спектров с помощью соответствующих баз данных и компьютерного библиотечного поиска выполнена расшифровка химического состава образцов питьевой воды, установлены основные и подтверждающие ионы химических соединений, время удерживания и химическая структура обнаруженных химических соединений.

Применение вышеизложенных методов позволило идентифицировать ряд химических веществ, присутствующих в питьевой воде, которые включены в дальнейший анализ в соответствии с разработанным алгоритмом.

Результаты

По результатам проведённого исследования установлены методические подходы к определению приоритетных химических веществ, на базе которых разработан алгоритм определения химических загрязнителей, содержащихся в питьевой воде централизованных сетей водоснабжения, приоритетных по критериям опасности и риска для здоровья населения.

Предлагаемый алгоритм представлен на рисунке и включает в себя три этапа:

1-й этап – идентификация всех химических веществ, присутствующих в питьевой воде исследуемой территории;

2-й этап:

а) для веществ с установленными ПДК на данном этапе проводится оценка по критерию соответствия гигиеническим нормативам;

б) для веществ с неустановленными ПДК проводится оценка потенциальной опасности в соответствии с разработанными критериями;

3-й этап – установление приоритетных химических загрязнителей по результатам оценки по критериям риска здоровью населения потенциально опасных веществ и веществ, для которых на предыдущем этапе установлено превышение гигиенических нормативов.

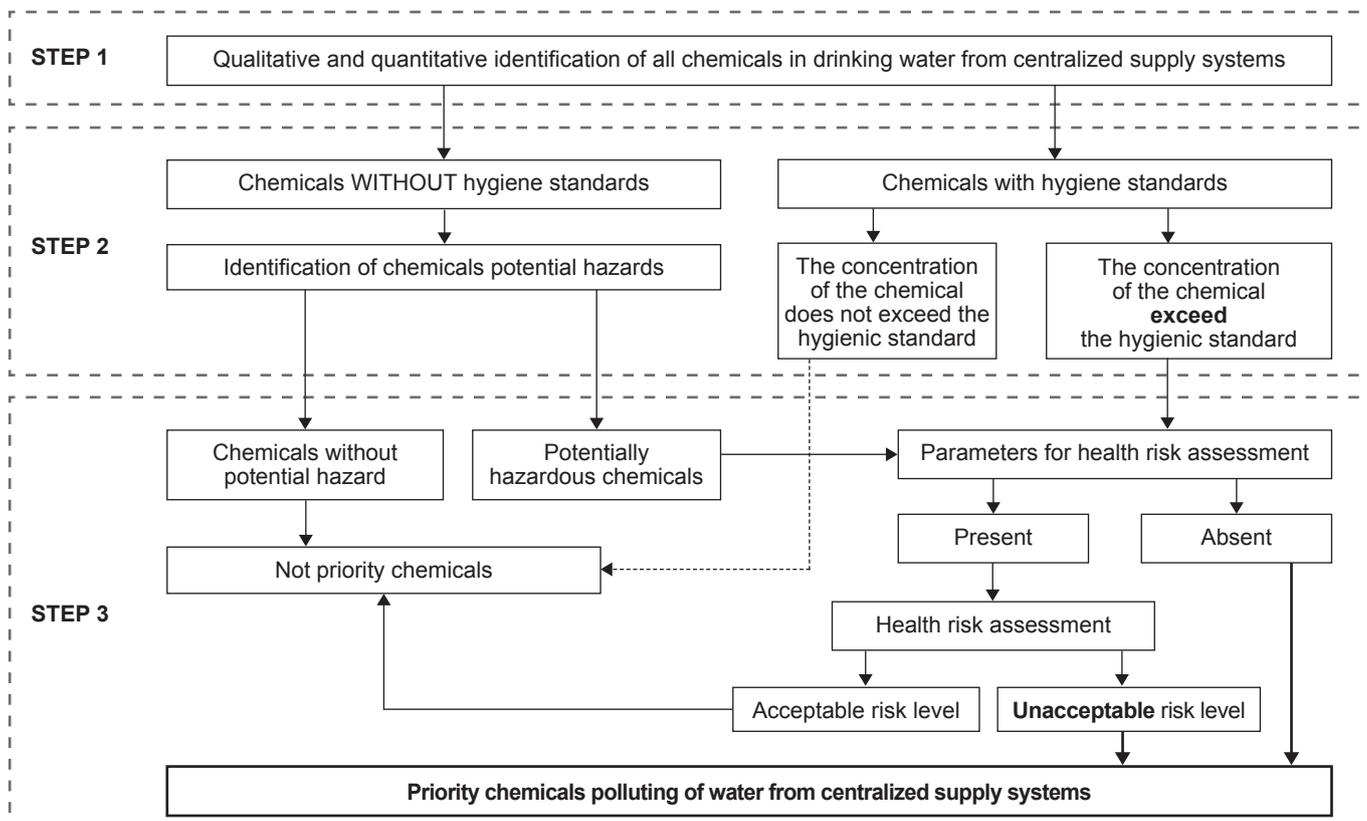
На первом этапе проводится отбор проб и последующая качественная и, при наличии химико-аналитических методов определения, количественная идентификация всех химических веществ, присутствующих в питьевой воде исследуемой территории.

На втором этапе устанавливается наличие гигиенического норматива для списка идентифицированных веществ. Для химических веществ, обладающих установленными ПДК, определяется отношение их фактической концентрации к установленным гигиеническим нормативам. Если содержание вещества в пробах воды соответствует гигиеническому нормативу, то оно не входит в список приоритетных химических загрязнителей воды централизованных сетей водоснабжения. Вещества с установленными ПДК, фактические концентрации которых превышают установленный гигиенический норматив более чем в 1 раз, включаются в дальнейшую оценку в соответствии с разработанным алгоритмом.

Для веществ с неустановленными гигиеническими нормативами на втором этапе проводится идентификация опасности, которая представляет собой углублённый анализ имеющихся научных данных об особенностях влияния исследуемого химического вещества на организм человека, о наличии вредных эффектов для человека и/или животных,



Алгоритм определения приоритетных химических загрязнителей, содержащихся в воде централизованных сетей водоснабжения, по критериям опасности и риска для здоровья населения.



Algorithm of determination of priority chemicals of water from centralized supply systems according to the criteria of hazard and risk to population health.

о возможных механизмах развития нарушений состояния здоровья.

Оценка опасности вещества проводится экспертным путём в соответствии со следующими критериями:

- наличие специфических и отдалённых эффектов в тестах *in vivo/in vitro* (канцерогенность, мутагенность, репродуктивная токсичность, эмбриотоксичность, тератогенность);
- наличие выраженных токсических свойств (на основе обобщённого анализа данных об изучаемом веществе);
- способность веществ к образованию побочных продуктов в процессе водоподготовки;
- физико-химические свойства вещества, имеющие определяющее значение для характеристики его потенциальной опасности.

По результатам определения потенциальной опасности в соответствии с вышеизложенными критериями вещества, для которых не установлены гигиенические нормативы, делятся на две группы:

1) химические вещества, не представляющие потенциальной опасности (они не являются приоритетными загрязнителями воды централизованных сетей водоснабжения);

2) потенциально опасные для человека (включаются в дальнейшую оценку в соответствии со следующими этапами алгоритма).

Для потенциально опасных для человека химических веществ, при условии наличия метода количественного определения, устанавливается фактическое содержание исследуемого вещества в воде, что позволит провести дальнейшую оценку по критериям риска для здоровья населения при наличии необходимых параметров.

На третьем этапе алгоритма определения приоритетных химических загрязнений, содержащихся в воде централизованных сетей водоснабжения, проводится оценка по критериям риска здоровью населения.

Оценка риска для здоровья населения при пероральном поступлении проводится в отношении химических веществ:

- для которых установлен гигиенический норматив и фактическое содержание которых в питьевой воде превышает ПДК;
- для потенциально опасных химических веществ, для которых не установлен гигиенический норматив, но установлен фактический уровень содержания в воде (то есть существует метод количественного определения содержания в воде).

Кроме того, в данный список включаются вещества, для которых отсутствуют необходимые параметры для оценки риска в связи с тем, что концентрации данных веществ превышают гигиенические нормативы, и они также могут представлять опасность для здоровья населения.

Таким образом, результатом реализации разработанного алгоритма является список приоритетных загрязнений воды централизованных сетей водоснабжения по критериям опасности и риска для здоровья населения.

Ряд веществ попадает в питьевую воду вследствие процесса водоподготовки и транспортировки по сетям централизованных систем питьевого водоснабжения до потребителя. К ним относятся в том числе хлороформ, этилбензол, эпихлоргидрин, толуол, 1,2-дихлорэтан, бромформ, тетрахлорэтан, тетрахлорметан и др. [19]. Так, при хлорировании в воде образуются хлорорганические соединения, являющиеся продуктами трансформации загрязнений (галогенсодержащие соединения), а при обработке воды методом озонирования в ней могут образовываться продукты озонлиза органических веществ в виде карбонильных соединений (альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, броматы), наиболее опасными из которых из-за своей токсичности являются формальдегид и броматы, относящиеся к канцерогенным веществам [2, 19, 20]. В связи с тем, что причиной появления химических веществ, относящихся к списку приоритетных загрязнений питьевой воды, может

быть не только качество водоисточника, но и вторичное загрязнение воды в процессе её водоподготовки и транспортировки по водопроводной сети, проводится установление возможных источников их поступления. Для этого осуществляется качественный анализ содержания химических соединений в воде по результатам дополнительного отбора проб на водозаборе (насосная станция первого подъёма) и после водоподготовки (станция второго подъёма перед подачей в распределительную сеть). Полученные данные сравниваются со списком приоритетных веществ, полученных по результатам отбора проб в конечной точке водораспределительной сети.

Если вещество, отнесённое к списку приоритетных загрязнений, отсутствует в пробах воды, отобранных на этапе водозабора, но присутствует в пробах воды, отобранных после водоподготовки, то его появление является результатом процессов водоподготовки. В данном случае необходимо рассмотреть возможности совершенствования используемых или замены/дополнения существующих технологий водоподготовки.

Если приоритетное химическое вещество отсутствует в пробах воды, отобранных на этапе водозабора, и после водоподготовки, то его появление в конечной точке распределительной водопроводной сети, вероятнее всего, вызвано неудовлетворительным состоянием сети.

Если наличие вещества отмечается на этапе водозабора и в конечной точке распределительной сети, но при этом отсутствует после водоподготовки, то это также свидетельствует о неудовлетворительном состоянии распределительной водопроводной сети. Однако если приоритетное химическое вещество отмечено и в пробах, отобранных на этапе водозабора, и после водоподготовки, то вероятной причиной его появления является неудовлетворительное качество водоисточника.

Если химическое вещество выявлено после водоподготовки и в конечной точке распределительной сети, то его появление, вероятнее всего, является результатом водоподготовки и транспортировки питьевой воды по водопроводной сети. При этом если вещество присутствует в пробах, отобранных на этапе водозабора, то его появление обусловлено качеством водоисточника.

Таким образом, если для веществ, попавших в список приоритетных химических загрязнений, содержащихся в питьевой воде, по критериям опасности и риска для здоровья населения установлена ПДК, то необходимо совершенствовать используемые или заменять/дополнять существующие технологии водоподготовки и транспортировки до достижения соответствия фактических концентраций величине существующих гигиенических нормативов и при наличии параметров для оценки риска данных веществ – достижения допустимых уровней риска. Для определения точек контроля используются результаты анализа вероятных источников поступления.

Апробация предлагаемых подходов проведена на примере одной из сетей водоснабжения Пермского края.

По результатам анализа проб № 1 и № 2 на содержание химических соединений (элементный состав) выявлено 14 элементов, фактическое содержание которых соответствовало установленным гигиеническим нормативам. Сканирование химических соединений данных проб по всему диапазону масс и дополнительный поиск с помощью идентификационной базы загрязнений природной среды (US EPA) позволили идентифицировать 34 масс-спектра органических соединений со значением коэффициента совпадения с библиотечными данными 37–97%.

Анализ проб № 3 и № 4, отобранных в конечной точке распределительной сети, позволил установить 16 химических веществ, фактическое содержание которых соответствовало установленным ПДК. Сканирование химических соединений данных проб по всему диапазону масс и дополнительный поиск с помощью идентификационной базы

загрязнений природной среды (US EPA) позволили идентифицировать 58 масс-спектров органических соединений со значением коэффициента совпадения с библиотечными данными 30–96%.

В качестве критерия отбора веществ предложена вероятность совпадения с «библиотекой» на 95% и более. По результатам применения данного критерия дальнейшую процедуру апробации прошли 16 органических соединений.

При оценке данных веществ на наличие гигиенических нормативов обнаружено, что для двух из них установлены ПДК и их фактические концентрации соответствуют гигиеническим нормативам. В связи с этим в дальнейшую процедуру оценки прошли 14 веществ, которые в соответствии с апробируемым алгоритмом должны быть оценены по критерию наличия потенциальной опасности для здоровья человека. Однако анализ литературных источников показал, что для трёх из отобранных веществ нет достаточного количества данных для их оценки, в связи с этим по предложенным критериям опасности оценены 11 веществ, для трёх из которых – 1,1,2,2-тетрахлорэтан, пентадекан (2,6,10,14-тетраметил) и лилиал (бутилфенилметилпропионал) – установлено наличие потенциальной опасности для здоровья человека. Так, 1,1,2,2-тетрахлорэтан относится к вероятным канцерогенам для человека по данным EPA [21] и МАИР [22], а также обладает подтверждённым канцерогенным потенциалом для животных по данным ACGIH [23, 24]. Пентадекан обладает генотоксичным действием, подавляет иммунную систему, способен накапливаться в тканях плода, а также вызывает гибель клеток человека (линия моноцитарных клеток) [25, 26]. Лилиал обладает сенсibilизирующим и раздражающим действием по результатам исследований Европейской комиссии [27]. В опытах на животных для него установлено наличие репродуктивной токсичности, он представляет опасность для водной среды, но при этом широко используется в промышленности в качестве ароматизатора для косметических продуктов, а также бытовых чистящих и моющих средств, что может стать причиной его увеличенного поступления в организм человека [28–30].

В соответствии с алгоритмом далее эти вещества должны быть оценены по критериям риска здоровью населения. Однако в связи с тем, что для данных соединений отсутствуют методы количественного определения их содержания в воде, для них не представляется возможным провести оценку риска. В связи с этим в соответствии с алгоритмом они автоматические включаются в список приоритетных химических загрязнений, содержащихся в воде централизованных сетей водоснабжения, по критериям опасности и риска для здоровья населения.

При анализе вероятных источников поступления установленных приоритетных химических веществ получено, что 1,1,2,2-тетрахлорэтан и лилиал обнаружены только в пробах воды, отобранных в конечной точке распределительной водопроводной сети. В связи с тем, что они не были обнаружены в пробах на водозаборе, их появление обусловлено вторичным загрязнением воды в процессе её водоподготовки и транспортировки по водопроводной сети. Пентадекан обнаружен только в пробах воды, отобранных на водозаборе. Исходя из того, что данное вещество выявлено в водоисточнике, но не обнаружено в конечных точках водопроводной сети, его появление обусловлено качеством водоисточника, но при этом применяемые технологии водоподготовки являются эффективными в отношении его устранения.

Результаты апробации с 4-кратным отбором и анализом проб показали, что разработанный алгоритм позволяет определять приоритетные химические загрязнения, содержащиеся в воде централизованных сетей водоснабжения, по критериям опасности и риска для здоровья

населения. Однако для оптимизации контроля качества воды кратность отбора проб должна определяться индивидуально в каждой конкретной ситуации в зависимости от местных условий. При этом минимальное количество проб устанавливается в соответствии с актуальными на данный момент нормативными документами по контролю качества воды централизованных сетей водоснабжения.

Обсуждение

Обеспечение населения качественной и безопасной для здоровья питьевой водой остаётся одной из актуальных задач органов Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Данная проблема требует от контрольно-надзорных органов оптимизации системы мер по управлению ситуацией, в том числе переход на риск-ориентированную модель деятельности, предполагающую концентрацию усилий на объектах, которые могут являться источниками наибольших рисков для здоровья населения [1]. Разработанный алгоритм определения приоритетных химических загрязнителей, содержащихся в воде централизованных сетей водоснабжения, по критериям опасности и риска для здоровья населения позволяет выделять вещества, являющиеся актуальными для первоочередного контроля при оценке и обеспечении безопасности питьевой воды в соответствии с методологией оценки риска, а предлагаемые подходы к установлению возможных источников их поступления помогают определить точки для их контроля. Кроме того, его использование способствует повышению безопасности питьевой воды благодаря тому, что предусматривает идентификацию всех химических веществ, установленных по результатам определения химико-аналитическими методами исследования, в том числе тех, которые не входят в систему контроля. Применение данных подходов на практике позволит оптимизировать контроль безопасности воды централизованных сетей водоснабжения, сосредоточив усилия на достаточном минимуме с учётом особенностей локального загрязнения источников водоснабжения.

Заключение

Предложено 6 критериев и разработанный на их основе алгоритм, предусматривающие определение приоритетных химических загрязнений, содержащихся в воде централизованных сетей водоснабжения, на основе идентификации химико-аналитическими методами исследования. По результатам их апробации установлено, что из 16 компонентов к потенциально опасным относятся три: 1,1,2,2-тетрахлорэтан, пентадекан и лилиал. При этом наличие 1,1,2,2-тетрахлорэтана и лилиала, вероятно, обусловлено процессами водоподготовки и транспортировки воды по водопроводной сети, а пентадекан поступает из водоисточника, но устраняется в процессе водоподготовки.

На основе полученных результатов для 1,1,2,2-тетрахлорэтана и лилиала рекомендуется провести оценку риска, и в случае обнаружения недопустимого уровня риска целесообразно разработать для них ПДК. Кроме того, для этих веществ рекомендуется рассмотреть возможность их удаления на этапе водоподготовки и транспортировки воды по централизованным сетям водоснабжения. Для пентадекана рекомендуется исследовать причины его попадания в источник водозабора и по возможности их устранить. В процессе этого необходимо проводить контроль содержания этого вещества в конечной точке водопроводной сети, и в случае обнаружения данного вещества провести оценку риска. В случае наличия недопустимого уровня риска целесообразно разработать для него ПДК. Рекомендуемые меры позволят оптимизировать контроль безопасности воды данной исследованной сети водоснабжения.

Литература

(п.п. 16–18, 21–30 см. References)

- Сбоев А.С., Вековшинина С.А. К проблеме оценки и повышения результативности и эффективности контрольно-надзорных мероприятий при обеспечении населения Пермского края безопасной питьевой водой. *Здоровье семьи – 21 век*. 2015; (1): 116–35.
- Тулакин А.В., Цыплакова Г.В., Амплеева Г.П., Козырева О.Н., Пивнева О.С., Трухина Г.М. Региональные проблемы обеспечения гигиенической надёжности питьевого водопользования. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(11): 1025–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-11-1025-1028>
- Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. Анализ пищевых рисков и безопасность водного фактора. *Анализ риска здоровью*. 2018; (4): 31–42. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.04>
- Красовский Г.Н., Рахманин Ю.А., Егорова Н.А., Малышева А.Г., Михайлова Р.И. Гигиенические основы формирования перечней показателей для оценки и контроля безопасности питьевой воды. *Гигиена и санитария*. 2010; 89(4): 8–13.
- Клейн С.В., Вековшинина С.А. Приоритетные факторы риска питьевой воды систем централизованного питьевого водоснабжения, формирующие негативные тенденции в состоянии здоровья населения. *Анализ риска здоровью*. 2020; (3): 49–60. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.06>
- Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Седусова Э.В. Опыт установления и доказывания вреда здоровью населения вследствие потребления питьевой воды, содержащей продукты гиперхлорирования. *Здоровье населения и среда обитания*. 2015; (12): 16–8.
- Май И.В., Клейн С.В., Седусова Э.В. К вопросу о порядке проведения санитарно-эпидемиологического расследования нарушений прав граждан на безопасное питьевое водоснабжение. *Здоровье семьи – 21 век*. 2012; (4): 11.
- 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.
- Зайцева Н.В., Клейн С.В. Оценка риска здоровью населения при воздействии водного перерального фактора среды обитания в условиях крупного промышленного центра для задач социально-гигиенического мониторинга (на примере города Перми). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009; 11(1–6): 1139–43.
- 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; 96(7): 686–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-686-689>
- Сбоев А.С., Романенко К.В. Анализ влияния хлороорганических соединений, содержащихся в воде сети хозяйственно-питьевого водоснабжения, на здоровье населения в городах Пермского края. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(1): 14–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-14-17>
- Нефедова 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.
- Кику П.Ф., Кислицына Л.В., Богданова В.Д., Сабирова К.М. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Приморского края. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 94–101. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101>
- Ковшов А.А., Новикова Ю.А., Федоров В.Н., Тихонова Н.А. Оценка рисков нарушений здоровья, связанных с качеством питьевой воды, в городских округах Арктической зоны Российской Федерации. *Вестник Уральской медицинской академической науки*. 2019; 16(2): 215–22. <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2019-16-2-215-222>
- Май И.В., Хорошавин В.А., Евдошенко В.С. Алгоритм и методы санитарно-эпидемиологического расследования нарушений прав граждан на благоприятную окружающую среду обитания с этапом оценки риска для здоровья. *Здоровье населения и среда обитания*. 2010; (11): 28–30.
- Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения. Available at: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/b23/Spravochnik-perspektivnykh-tehnologiy-24.07.2019.docx>
- Иксанова Т.И., Малышева А.Г., Растяниников Е.Г., Егорова Н.А., Красовский Г.Н., Николаев М.Г. Гигиеническая оценка комплексного действия хлороформа питьевой воды. *Гигиена и санитария*. 2006; 85(2): 8–12.

References

- Sboev A.S., Vekovshinina S.A. To the problem of the assessment and increase of the effectiveness of controlsupervisory arrangements providing Perm region population with clear drinking water. *Zdorov'e sem'i – 21 vek*. 2015; (1): 116–35. (in Russian)
- Tulakin A.V., Tsyplakova G.V., Ampleeva G.P., Kozyreva O.N., Pivneva O.S., Trukhina G.M. Regional problems of the provision of hygienic reliability of drinking water consumption. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(11): 1025–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-11-1025-1028> (in Russian)
- Rakhmanin Yu.A., Mikhaylova R.I. Food risks analysis and water safety. *Analiz riska zdorov'yu*. 2018; (4): 31–42. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.4.04> (in Russian)
- Krasovskiy G.N., Rakhmanin Yu.A., Egorova N.A., Malysheva A.G., Mikhaylova R.I. Hygienic bases for listing the indicators for evaluation and control of the safety of drinking water. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2010; 89(4): 8–13. (in Russian)
- Kleyn S.V., Vekovshinina S.A. Priority risk factors related to drinking water from centralized water supply system that create negative trends in population health. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (3): 49–60. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.06> (in Russian)
- Zaytseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Sedusova E.V. An experience of establishing and proving public health injury caused by consumption of drinking water containing hyperchlorination products. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2015; (12): 16–8. (in Russian)
- May I.V., Kleyn S.V., Sedusova E.V. To the question of the procedure of sanitary and epidemiological investigation of the infringement of citizens right for safe drinking water supply. *Zdorov'e sem'i – 21 vek*. 2012; (4): 11. (in Russian)
- Tulakin A.V., Plitman S.I., Ampleeva G.P., Pivneva O.S. The risk-oriented supervision of drinking water: problems and possibilities. *Prkladnye informatsionnye aspekty meditsiny*. 2018; 21(3): 28–31. (in Russian)
- Zaytseva N.V., Kleyn S.V. Estimation of risk to health of the population at impact of water peroral factor of inhabitanity in conditions of large industrial centre for problems of socially-hygienic monitoring (on example of Perm). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2009; 11(1–6): 1139–43. (in Russian)
- Fridman K.B., Novikova Yu.A., Belkin A.S. On the issue of the use of health risk assessment techniques for hygienic characteristics of water supply systems. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(7): 686–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-686-689> (in Russian)
- Sboev A.S., Romanenko K.V. Analysis of the impact of organochlorine compounds contained in the water network of the domestic water supply on the health of population in cities of the Perm kraj. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(1): 14–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-14-17> (in Russian)
- Nefedova E.D., Khyamyalyaynen M.M., Kovzharovskaya I.B., Shevchik G.V. Risk-oriented approach to the arrangement of drinking water quality control. *Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2018; (3): 5–9. (in Russian)
- Kiku P.F., Kislitsyna L.V., Bogdanova V.D., Sabirova K.M. Hygienic evaluation of the quality of drinking water and risks for the health of the population of the Primorye territory. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 94–101. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-94-101> (in Russian)
- Kovshov A.A., Novikova Yu.A., Fedorov V.N., Tikhonova N.A. Diseases risk assessment associated with the quality of drinking water in the urban districts of Russian Arctic. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*. 2019; 16(2): 215–22. <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2019-16-2-215-222> (in Russian)
- May I.V., Khoroshavin V.A., Evdoshenko V.S. Algorithms and methods of sanitary-epidemiological investigation of civil rights violations on a favorable habitats with step of health risk assessment. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2010; (11): 28–30. (in Russian)
- The Report of the Scientific Steering Committee's Working Group on Harmonisation of Risk Assessment Procedures in the Scientific Committees advising the European Commission in the area of human and environmental health. First Report on the Harmonisation of Risk Assessment Procedures. EU, Brussels; 2000.
- Reference Library of Water Quality Standards Policy and Guidance Documents. Available at: <https://www.epa.gov/wqs-tech/reference-library-water-quality-standards-policy-and-guidance-documents>
- National recommended water quality criteria 2002: Human health criteria calculation matrix. EPA-822-R-02-012. US EPA; 2002.
- Directory of perspective water treatment technologies and water treatment with the use of technologies developed by organizations of the military-industrial complex and risk-based public health, 2019. Available at: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/b23/Spravochnik-perspektivnykh-tehnologiy-24.07.2019.docx> (in Russian)
- Iksanova T.I., Malysheva A.G., Rastyannikov E.G., Egorova N.A., Krasovskiy G.N., Nikolaev M.G. Hygienic evaluation of the combined effect of portable water chloroform. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2006; 85(2): 8–12. (in Russian)

Original article

21. Toxicological Review of 1,1,2,2-Tetrachloroethane (External Review Draft). EPA/635/R-09/001. U.S. EPA, Washington, DC; 2009.
 22. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. List of Classifications. Agents classified by the IARC Monographs. Available at: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications>
 23. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati; 2014.
 24. PubChem. 1,1,2,2-Tetrachloroethane. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6591#section=Toxicity>
 25. PubChem. Pristane. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15979#section=Toxicity-Summary>
 26. Toxicological profile for total petroleum hydrocarbons. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Atlanta; 2016.
 27. Harmonised classification – Annex VI of Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP Regulation). Available at: <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/123759>
 28. Opinion on the safety of Butylphenyl methylpropional (p-BMHCA) in cosmetic products – Submission II. Scientific Committee on Consumer Safety. SCCS/1591/17. European Commission; 2016.
 29. PubChem. Lilial. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/228987#section=Toxicity>
 30. Lillial. GHS Classification. Available at: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/228987#section=GHS-Classification&fullscreen=true>
-