УДК 613, 614, 616.9
DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.05

Читать онлайн

Научная статья

ПРЕАММОНИЗАЦИЯ ВОДЫ НА ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ВОДОПРОВОДА КРУПНОГО ГОРОДА КАК СРЕДСТВО МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

С.А. Соснина[1], А.В. Мироновская[1,2], Т.Н. Унгуряну[1,2,3], Р.В. Бузинов[1,2]

[1] Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Архангельской области, Россия, 163000, г. Архангельск, ул. Гайдара, 24
[2] Северный государственный медицинский университет, Россия, 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, 51
[3] Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Россия, 119435, г. Москва, ул. Большая Пироговская, 2, стр. 2

В настоящее время для обеззараживания воды при водоподготовке широко применяются соединения хлора, при этом образуются токсичные хлорорганические соединения. В г. Архангельске на центральных очистных сооружениях водоснабжения была внедрена преаммонизация воды сульфатом аммония. В связи с этим оценена эффективность внедрения метода преаммонизации воды на центральных очистных сооружениях водопровода г. Архангельска.

В рамках исследования проанализировано качество питьевой воды на центральных очистных сооружениях водопровода до проведения преаммоннизации (с января 2016 г. по июль 2017 г.) и после проведения преаммонизации (с июня 2018 г. по декабрь 2019 г.). До внедрения преаммонизации воды исследовано 14 674 пробы, после внедрения преаммонизации воды – 15 165 проб. Анализ качества воды проводился по 19 показателям. Оценка неканцерогенных эффектов при воздействии химических веществ, содержащихся в питьевой воде, до и после внедрения преаммонизации выполнена на основе расчета коэффициентов опасности и индексов опасности. Для описания содержания исследуемых показателей использованы медиана и 90-й процентиль. Выявление различий между показателями качества питьевой воды до и после внедрения преаммонизации проводилось с помощью двухвыборочного критерия Вилкоксона.

По результатам применения преаммонизации воды на центральных очистных сооружениях водопровода Архангельска достигнуто улучшение качества питьевой воды на втором подъеме и в распределительной сети. На втором подъеме после внедрения преаммонизации снизились концентрации алюминия – в 2,7 раза, нитратов – в 1,2 раза, хлороформа – в 3,5 раза ($p < 0,001$). Общее микробное число уменьшилось в 1,6 раза ($p < 0,001$). В распределительной сети после внедрения преаммонизации мутность воды уменьшилась в 1,3 раза ($p = 0,002$), концентрации алюминия и хлороформа уменьшились в 1,7 и в 7,3 раза соответственно ($p < 0,001$). Вклад хлороформа в индексы опасности после преаммонизации снизился на 10–47 % по сравнению с водоподготовкой на основе традиционного хлорирования.

Внедрение предварительной аммонизации воды позволило улучшить качество работы водопроводных станций, добиться снижения эксплуатационных затрат, снизить образование побочных продуктов дезинфекции и повысить качество питьевой воды.

Ключевые слова: *преаммонизация воды, сульфат аммония, водоподготовка, продукты дезинфекции, хлорорганические соединения, хлороформ, качество питьевой воды, центральные очистные сооружения водопровода, Архангельск.*

© Соснина С.А., Мироновская А.В., Унгуряну Т.Н., Бузинов Р.В., 2021

Соснина Светлана Алексеевна – ведущий специалист-эксперт отдела санитарного надзора (e-mail: stchupakova@yandex.ru; тел.: 8 (8182) 65-27-93; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0241-4111).

Мироновская Анастасия Владимировна – кандидат медицинских наук, заместитель руководителя; доцент кафедры гигиены и медицинской экологии (e-mail: miro_av@mail.ru; тел.: 8 (8182) 20-57-23; ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9849-2848).

Унгуряну Татьяна Николаевна – доктор медицинских наук, главный специалист-эксперт; профессор кафедры гигиены и медицинской экологии; профессор кафедры общей гигиены (e-mail: unguryanu_tn@mail.ru; тел.: 8 (8182) 21-04-61; ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8936-7324).

Бузинов Роман Вячеславович – доктор медицинских наук, руководитель; профессор кафедры гигиены и медицинской экологии (e-mail: arkh@29.rospotrebnadzor.ru; тел.: 8 (8182) 20-05-69; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8624-6452).

Качество питьевой воды является одним из наиболее важных факторов, влияющих на состояние здоровья населения. Высокая техногенная нагрузка на окружающую среду приводит к загрязнению водных объектов по многим химическим, биологическим и органолептическим показателям [1–3]. Обеспечение населения качественной питьевой водой и оптимизация условий водопользования остаются актуальными задачами, несмотря на совершенствование технологий по очистке и обеззараживанию воды [3].

Высокий уровень обеззараживания питьевой воды и обеспечение санитарного состояния водоочистных сооружений достигается за счет хлорирования воды, которое является одним из важнейших этапов водоподготовки [4]. Однако процесс хлорирования сопровождается образованием побочных продуктов дезинфекции. При обработке воды хлорсодержащими реагентами образуются свыше 300 токсичных хлорорганических соединений, в основном относящиеся к тригалометанам (хлороформ, дихлорбромметан, хлордибромметан, бромоформ и другие) [4, 5]. При этом хлороформ является одним из наиболее часто встречающихся побочных продуктов дезинфекции, его концентрация значительно превышает содержание других летучих хлорорганических соединений[1] [6–8]. Кроме этого, даже минимальное содержание хлора в питьевой воде приводит к появлению специфического запаха, который ощущается потребителем.

Хроническая экспозиция к тригалометанам представляет серьезную опасность здоровью, так как они считаются системными токсикантами, обладают мутагенной и канцерогенной активностью [9–11], являются генотоксичными, вызывают метаболические нарушения [12], способствуют повышению уровня общей и детской заболеваемости [13]. Даже при низких уровнях содержания в питьевой воде тригалометанов, в частности хлороформа, повышается риск развития канцерогенных и общетоксических эффектов [14].

Снижение образования хлорорганических соединений в питьевой воде можно достичь с помощью метода предварительной аммонизации, то есть хлорирования воды, содержащей аммонийный азот [15]. Сущность метода заключается в том, что перед добавлением хлора в воду в нее вводят аммиак или его соли. Преимуществами преаммонизации воды являются снижение расхода хлора в 1,5–2 раза, снижение специфического запаха хлора, увеличение концентрации остаточного хлора в очищенной воде, что способствует более длительному эффекту обеззараживания, которое обеспечивается за счет связанного хлора (хлораминов) [16, 17].

Опыт внедрения преаммонизации воды в Москве, Санкт-Петербурге, Хабаровске, Ростове-на-Дону, Нижнем Новгороде показал положительное влияние данного метода водоподготовки на качество питьевой воды, подаваемой населению, преимущественно за счет снижения содержания побочных продуктов хлорирования [4, 18–21].

Настоящее исследование выполнено на территории г. Архангельска, который является административным центром Архангельской области и относится к территориям Арктической зоны[2]. Основным источником централизованного водоснабжения в г. Архангельске является река Северная Двина и ее протоки, на которых эксплуатируется 10 водопроводных сооружений. Для реки Северная Двина характерна низкая температура воды, малая минерализация и содержание фтора, небольшая общая жесткость, значительные колебания мутности, высокая цветность и окисляемость[3].

Высокая цветность речной воды, достигающая 180° в районе водозабора, обусловлена содержанием гуминовых веществ природного происхождения, а также сбросом сточных вод АО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат», доля которого в общем объеме сбросов загрязненных сточных вод в пределах всей зоны санитарной охраны водоисточника составляет не менее 60 %[4]. Кроме этого, выпуск неочищенных или недостаточно очищенных сточных и ливневых вод осуществляются канализационными очистными сооружениями Архангельска, неканализованным жилым фондом, предприятиями речного и железнодорожного транспорта.

При анализе качества воды в реке Северная Двина в районе г. Архангельска установлено, что удельный вес исследованных проб за 2017–2019 гг., не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим и санитарно-химическим показателям, составил 48,8 и 56,3 % соответственно, что выше аналогичных показателей по Российской Федерации в 2–3 раза. Удельный вес проб питьевой воды на территории г. Архангельска, исследованных за

---

[1] Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. – Geneva: World Health Organization, 2017. – 470 p.

[2] О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: Указ Президента РФ № 296 от 02.05.2014 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162553/ (дата обращения: 14.03.2021).

[3] Гигиена питьевой воды: учебное пособие / М.Х. Шрага, И.И. Бобун, А.В. Мироновская, Л.И. Кудря, Т.А. Гордиенко, Т.Н. Унгуряну. – 3-е изд. – Архангельск: Северный государственный медицинский университет, 2015. – 224 с.

[4] Об утверждении перечня объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относящихся к I категории, вклад которых в суммарные выбросы, сбросы загрязняющих веществ в Российской Федерации составляет не менее чем 60 процентов: Приказ Минприроды России от 18.04.2018 N 154 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_301627/ (дата обращения: 14.03.2021).

2017–2019 гг., не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим и санитарно-химическим показателям, составил 6,3 и 30,7 % соответственно, что в 2,5 раза выше аналогичных показателей в целом по Российской Федерации[5]. При оценке мониторинга качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения на территориях, отнесенных к Арктической зоне Российской Федерации, показано, что одним из приоритетных загрязнителей питьевой воды на территории Архангельской области является хлороформ [22]. Таким образом, для повышения качества питьевой воды, подаваемой населению г. Архангельска, требуется проведение модернизации системы водоочистки.

Преаммонизация воды была внедрена на центральных очистных сооружениях водопровода (ЦОСВ), которые подают воду 77 % населения г. Архангельска. В 2017 г. МУП «Водоканал» разработал согласованную с Управлением Роспотребнадзора по Архангельской области программу проведения опытно-промышленных испытаний технологии аммонизации воды, направленной на снижение содержания в питьевой воде хлорорганических производных в результате ее хлорирования. В период с августа 2017 г. по май 2018 г. проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания по внедрению технологии аммонирования воды с использованием сульфата аммония. С июня 2018 г. преаммонизация воды на ЦОСВ была введена на постоянной основе.

Цель исследования – оценить эффективность внедрения метода преаммонизации воды на центральных очистных сооружениях водопровода г. Архангельска.

Материалы и методы. В рамках исследования проанализировано качество питьевой воды после водоподготовки на ЦОСВ до проведения преаммонизации (с января 2016 г. по июль 2017 г.) и после проведения преаммонизации (с июня 2018 г. по декабрь 2019 г.). До внедрения преаммонизации воды исследовано 14 674 пробы, после внедрения преаммонизации – 15 165 проб. Население под воздействием составило 273 624 человека. Оценка эффективности введения преаммонизации проведена по данным производственного лабораторного контроля, проводимого организацией, эксплуатирующей ЦОСВ на станциях второго подъема, непосредственно после водоподготовки и в контрольных точках на распределительной сети, а также по результатам надзорных мероприятий Управления Роспотребнадзора по Архангельской области и протоколам лабораторных исследований качества питьевой воды, проведенных ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Архангельской области» в рамках социально-гигиенического мониторинга. Проанализированы данные организаций (МУП «Водоканал» и ООО «РВК-Архангельск»), эксплуатирующих ЦОСВ, расходование реагентов до и после введения преаммонизации.

На основе указанных материалов создана база данных исследований качества питьевой воды, подаваемой с ЦОСВ, по органолептическим, санитарно-химическим и микробиологическим показателям. Анализ качества воды осуществлялся по 19 показателям: органолептические (запах при 20 °С, цветность, мутность), обобщенные (водородный показатель, окисляемость перманганатная, общая минерализация), неорганические (алюминий, железо, хлориды, сульфаты, аммиак, нитриты, нитраты), химические вещества, образующиеся в процессе обработки воды (хлороформ, хлор остаточный свободный, хлор остаточный связанный) и микробиологические (общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, общее микробное число).

Оценка неканцерогенных эффектов при воздействии химических веществ, содержащихся в питьевой воде, до и после внедрения преаммонизации выполнена на основе расчета коэффициентов опасности (*HQ*) и индексов опасности (*HI*) для веществ с однонаправленным механизмом действия. Коэффициенты опасности были рассчитаны для алюминия, железа, аммиака, нитритов, нитратов и хлороформа на уровне их медианных концентраций. Для расчета дозы поступления химических веществ с питьевой водой использовалось стандартное значение водопотребления 2 л в сутки для взрослого человека массой 70 кг. Значения *HQ* и *HI* менее 1,0 рассматривались как минимальные уровни риска[6].

Для описания содержания исследуемых показателей использована медиана (*Me*) и 90-й процентиль (P_{90}). Выявление различий между показателями качества питьевой воды до и после внедрения преаммонизации проводилось с помощью двухвыборочного критерия Вилкоксона. За критический уровень статистической значимости принималось *p*, равное 0,05. Статистический анализ данных выполнен с использованием программного обеспечения STATA 14.2.

Результаты и их обсуждение. В настоящее время водоснабжение г. Архангельска через ЦОСВ осуществляется ООО «РВК-Архангельск» (до 20.12.2018 г. – МУП «Водоканал»). ЦОСВ состоят из двух станций по очистке воды (станции № 2, 3) на которых проходит подготовка и обеззараживание

[5] О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 299 с.; О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Архангельской области в 2019 году: Государственный доклад / под ред. Р.В. Бузинова. – Архангельск, 2020. – 148 с.

[6] Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

воды, далее вода подается в резервуар чистой воды. Производительность ЦОСВ в среднем составляет 130–140 тысяч $м^3$/сут.

На ЦОСВ используются два метода очистки воды: на станции № 2 – метод коагуляции в свободном объеме, на станции № 3 – метод коагуляции в фильтрующем слое. В процессе водоподготовки на станции № 2 вода из реки Северная Двина поступает в смеситель вихревого типа, далее – в водоводы, где вводится сульфат аммония, с помощью которого свободный хлор переходит в связанный. После этого для первичного обеззараживания в воду подается гипохлорит натрия, а также кальцинированная сода, коагулянт, флокулянт. Отношение аммонийного азота к активному хлору 1:4. Далее вода, смешанная с реагентами, через камеры реакции поступает на скорые фильтры, затем подвергается вторичному обеззараживанию и поступает в резервуары чистой питьевой воды.

В процессе водоподготовки на станции № 3 вода из реки Северная Двина подается в контактную камеру, в которую вводится раствор сульфата аммония, далее дозируется гипохлорит натрия (первичное хлорирование) и коагулянт. После выхода из контактной камеры вода смешивается с флокулянтом. Затем вода поступает на префильтры (контактные осветлители) для контактной коагуляции. В осветленную воду дополнительно вводится микродоза флокулянта. Далее в воду подаются вторая доза гипохлорита натрия и раствор кальцинированной соды. После скорых фильтров очищенная вода подвергается заключительному обеззараживанию и направляется в резервуары чистой питьевой воды, где смешивается с водой, поступающей со станции № 2.

Оценка качества воды на втором подъеме ЦОСВ. Сравнительная оценка качества питьевой воды, отобранной на втором подъеме ЦОСВ, на уровне средних значений показателей выявила повышение цветности в 1,1 раза ($p = 0{,}027$) и увеличение концентрации аммиака (по азоту) в 3,8 раза ($p < 0{,}001$). При этом значения цветности и содержания аммиака на уровне медианы не превышали ПДК (табл. 1).

Качество питьевой воды на втором подъеме ЦОСВ на уровне медианы по таким показателям, как запах, мутность, водородный показатель, окисляемость перманганатная, железо и нитриты, после внедрения преаммонизации не изменилось ($p > 0{,}05$).

Таблица 1

Результаты лабораторных испытаний качества питьевой воды на втором подъеме ЦОСВ г. Архангельска

Показатель	До преаммонизации		После преаммонизацми		p	Норматив[7]
	Me	P_{90}	*Me*	P_{90}		
Органолептические показатели						
Запах при 20 °С, баллы	1	2	1	2	0,466	2
Цветность, градусы	12	18	13	21	0,027	20
Мутность, мг/л (по каолину)	0,58	1,10	0,58	0,62	0,106	1,5
Обобщенные показатели						
Водородный показатель, единицы pH	6,9	7,4	6,8	7,3	0,742	6–9
Окисляемость перманганатная, мг/л	4,1	5,0	4,3	5,0	0,369	5
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	268	362	209	322	0,008	1000
Неорганические вещества						
Алюминий (Al (3+)), мг/л	0,32	0,46	0,12	0,24	< 0,001	0,5
Железо (Fe, суммарно), мг/л	0,1	0,14	0,1	0,15	0,107	0,3
Хлориды (по CL), мг/л	16,05	20,3	9,7	13,8	< 0,001	350
Сульфаты (SO_4), мг/л	77,9	116,4	83,3	113,5	0,650	500
Аммиак (по азоту)	0,10	0,38	0,38	0,60	< 0,001	2,0
Нитриты (по NO_2), мг/л	0,02	0,02	0,02	0,03	0,014	3,0
Нитраты (по NO_3), мг/л	0,55	1,44	0,45	1,04	0,024	45
Химические вещества, образующиеся в процессе водоподготовки						
Хлороформ, мг/л	0,07	0,11	0,02	0,02	< 0,001	0,2
Хлор остаточный свободный, мг/л	0,94	1,17	0,05	0,27	0,317	не нормируется
Хлор остаточный связанный, мг/л	0,59	0,95	1,16	1,40	0,317	0,8–1,2
Микробиологические показатели						
ОКБ, число бактерий в 100 мл	0	0	0	0	х	отсутствие
ТКБ, число бактерий в 100 мл	0	0	0	0	х	отсутствие
ОМЧ, число образующих колонии бактерий в 1 мл	0,03	0,41	0	0,26	< 0,001	не более 50

[7] СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. – М.: Минздрав России, 2002. – 103 с.

Таблица 2

Результаты лабораторных испытаний качества питьевой воды в распределительной сети, подаваемой населению с ЦОСВ г. Архангельска

Показатель	До преаммонизации		После преаммонизацми		*p*	Норматив[6]
	Me	P_{90}	*Me*	P_{90}		
Органолептические показатели						
Запах при 20 °С, баллы	1	1,3	1	1,3	0,114	2
Цветность, градусы	15	20	18	23	<0,001	20
Мутность, мг/л (по каолину)	0,86	1,47	0,66	1,02	0,002	1,5
Обобщенные показатели						
Водородный показатель, единицы pH	6,9	7,4	6,9	7,3	0,684	6–9
Окисляемость перманганатная, мг/л	4,1	5,2	4,4	4,8	0,547	5
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	277	363	199	310	0,023	1000
Неорганические вещества						
Алюминий (Al (3+)), мг/л	0,25	0,42	0,15	0,24	<0,001	0,5
Железо (Fe, суммарно), мг/л	0,31	0,48	0,32	0,64	0,576	0,3
Хлориды (по CL), мг/л	17,35	22,30	10,73	15,88	<0,001	350
Сульфаты (SO_4), мг/л	71,8	122,6	74,7	105,6	0,327	500
Аммиак (по азоту)	0,11	0,22	0,43	0,66	<0,001	2,0
Нитриты (по NO_2), мг/л	0,02	0,02	0,03	0,12	<0,001	3,0
Нитраты (по NO_3), мг/л	0,73	1,42	0,54	1,38	0,31	45
Химические вещества, образующиеся в процессе водоподготовки						
Хлороформ, мг/л	0,066	0,085	0,009	0,043	<0,001	0,2
Хлор остаточный свободный, мг/л	0,10	0,25	0,01	0,14	<0,001	не нормируется
Хлор остаточный связанный, мг/л	0,11	0,15	0,50	0,64	<0,001	не нормируется
Микробиологические показатели						
ОКБ, число бактерий в 100 мл	0	0,04	0	0,04	0,888	отсутствие
ТКБ, число бактерий в 100 мл	0	0,03	0	0,02	0,829	отсутствие
ОМЧ, число образующих колонии бактерий в 1 мл	0,05	0,68	0,05	0,36	0,580	не более 50

Статистически значимо снизилось содержание веществ в питьевой воде после внедрения преаммонизации по следующим показателям: алюминий – в 2,7 раза ($p < 0,001$), хлориды – в 1,7 раза ($p < 0,001$), нитраты – в 1,2 раза ($p < 0,001$). Концентрация хлороформа на втором подъеме ЦОСВ после внедрения преаммонизации воды снизилась на уровне *Me* в 3,5 раза, на уровне P_{90} – в 5,5 раза ($p < 0,001$). Влияние преаммонизации воды на содержание остаточного свободного хлора и остаточного связанного хлора достоверно оценить не представляется возможным в связи с малым количеством наблюдений до проведения преаммонизации ($n = 4$).

На уровне медианы общее микробное число (ОМЧ) после внедрения преаммонизации воды не обнаружено, на втором подъеме ЦОСВ ОМЧ уменьшилось на уровне P_{90} в 1,6 раза ($p < 0,001$).

Оценка качества воды в распределительной сети. При проведении сравнительной оценки качества питьевой воды, отобранной в распределительной сети до и после внедрения преаммонизации, не выявлено изменений по запаху и водородному показателю ($p > 0,05$).

Установлено, что на уровне средних значений показателей после внедрения преаммонизации увеличилась цветность в 1,2 раза, повысились концентрации аммиака в 3,9 раза ($p < 0,001$) и нитритов – в 1,5 раза ($p < 0,001$) (табл. 2). При этом значения данных показателей не превышали ПДК, за исключением цветности на уровне P_{90}.

В распределительной сети после внедрения преаммонизации уменьшились мутность воды в 1,3 раза ($p = 0,002$), сухой остаток – в 1,1 раза ($p = 0,023$), концентрации алюминия и хлоридов – в 1,7 и 1,6 раза соответственно ($p < 0,001$). Среднее содержание хлороформа уменьшилось в 7,3 раза, а хлора остаточного свободного – в 10 раз ($p < 0,001$). Средняя концентрация хлора остаточного связанного увеличилась в 4,5 раза ($p < 0,001$). Увеличение в распределительной сети содержания остаточного связанного хлора и снижение остаточного свободного хлора свидетельствует о нахождении хлора в распределительной сети более длительный период, что обусловливает бактерицидное действие хлора на большей протяженности водопроводной сети.

В сравнении со вторым подъемом качество воды в распределительной сети по содержанию железа ухудшилось, что обусловлено высоким процентом изношенности водопроводной сети г. Архангельска (70,7 %) и большим количеством аварий на распределительной сети. Однако содержание железа в воде распределительной сети до и после внедрения преаммонизации не имело статистически значимых различий.

Снижение концентрации сухого остатка, хлоридов, нитратов и сульфатов в питьевой воде на 2-м подъ-

еме ЦОСВ и в распределительной сети г. Архангельска связано с природным составом воды. Снижение концентрации алюминия на 2-м подъеме ЦОСВ и в распределительной сети не является следствием внедрения преммонизации воды.

После преаммонизации содержание термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) и ОМЧ в воде распределительной сети уменьшилось в 1,5 и в 1,9 раза соответственно, показатель ОКБ остался без изменений.

Характеристика риска развития общетоксических эффектов показала, что значения коэффициентов опасности для всех исследуемых веществ и индексы опасности для критических органов и систем как до внедрения преаммонизации, так и после ее внедрения, не превышали 1,0. Тем не менее после внедрения преаммонизации индексы опасности для системы крови и кожи уменьшились в 3,2 раза, для органов кровообращения, центральной нервной системы и органов пищеварения – в 5–7 раз (рисунок).

Рис. Индексы опасности для критических органов и систем при воздействии химических веществ, содержащихся в питьевой воде, до и после внедрения преаммонизации

Снижение риска развития общетоксических эффектов для критических органов и систем обусловлено преимущественно уменьшением содержания хлороформа в питьевой воде после внедрения преаммонизации. Вклад хлороформа в индексы опасности после преаммонизации снизился на 10–47 % по сравнению с водоподготовкой на основе традиционного хлорирования.

Основным результатом внедрения предварительной аммонизации воды в г. Архангельске было снижение содержания хлороформа в питьевой воде на втором подъеме с 0,07 до 0,02 мг/л и в распределительной сети с 0,066 до 0,009 мг/л. Результаты настоящего исследования согласуются с данными, полученными в г. Санкт-Петербурге, где проводились испытания по внедрению аммонирования воды с использованием сульфата аммония. В результате преаммонизации на водоочистных сооружениях г. Санкт-Петербурга содержание хлороформа в питьевой воде снизилось с 90–120 до 1–5 мкг/дм^3 [18].

В г. Хабаровске удалось снизить ухудшение качества питьевой воды по микробиологическим показателям в распределительной сети города и уменьшить содержание хлорорганических соединений в питьевой воде до значений ниже гигиенического норматива благодаря внедрению метода преаммонизации воды сульфатом аммония [19]. Преаммонизация воды сульфатом аммония стала эффективным способом снижения концентраций летучих хлорорганических соединений до семи раз в воде, используемой для водоснабжения г. Ростова-на-Дону, Таганрога и Азова [20].

Введение предварительной аммонизации воды и применение гипохлорита натрия на Слудинской водопроводной станции г. Нижнего Новгорода позволили привести концентрацию хлороформа к показателю не более 0,01 мг/л, а также снизить концентрацию побочных продуктов дезинфекции в питьевой воде на 60–80 % [21]. Сотрудниками ОАО «Мосводоканал» было проведено исследование по внедрению преаммонизации для водоподготовки в г. Москве, в результате которой концентрация хлороформа снизилась с 50–87 до 6–15 мкг/л [4].

Для снижения содержания хлорорганических соединений в питьевой воде использование предварительной аммонизации и хлорирования является наиболее эффективной методикой, однако результатом данной технологии является образование хлораминов, что приводит к снижению эффекта обесцвечивания. Этим можно объяснить увеличение цветности на втором подъеме водоочистных сооружений на 1° и в распределительной сети на 3°. ОАО «Мосводоканал» при водоподготовке был проведен ряд лабораторных исследований для определения зависимости величины цветности от дозы и последовательности ввода хлора и аммиака. В результате эффект по снижению цветности не был получен: после 5 мин ввода аммиака после хлора цветность уменьшилась всего на 2° [4].

По данным, представленным ООО «РВК-Архангельск», эксплуатирующее ЦОСВ г. Архангельска, суммарный расход химического реагента (гипохлорита натрия) за 2019 г. составил 318,2 тонны. До внедрения аммонизации воды суммарный расход реагента составлял 666 тонн в год. Таким образом, после внедрения преаммонизации воды расход химического реагента уменьшился в 2,1 раза, что свидетельствует об экономии реагента и экономической эффективности внедрения преаммонизации воды. На Слудинской водопроводной станции Нижнего Новгорода введение преммонизации позволило уменьшить расход хлора на 40–50 % [21].

Выводы. Использование сульфата аммония в рамках проведения предварительной аммонизации при подготовке питьевой воды на ЦОСВ г. Архангельска позволило существенно улучшить качество питьевой воды, подаваемой населению. Положительный эффект преаммонизации состоял в снижении появления побочных продуктов хлорирования и улучшения микробиологического качества питьевой воды. За счет снижения содержания

хлороформа уменьшился риск развития общетоксических эффектов со стороны критических органов и систем. Использование преаммонизации воды как нового технологического решения на этапе водоподготовки позволило улучшить качество работы водопроводных станций, добиться снижения эксплуатационных затрат, снизить образование побочных продуктов дезинфекции и повысить качество питьевой воды.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Анализ состояния питьевой воды в Воронежской области за 2014–2019 годы / В.П. Косолапов, Н.Н. Чайкина, Г.В. Сыч, Е.А. Болдырева, К.С. Ласточкина // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 230–239.
2. Степанов Н.А., Заводова Е.И. Характеристика влияния качественного состава питьевой воды на здоровье человека // Медицина труда и экология человека. – 2015. – № 3. – С. 200–205.
3. Михайличенко К.Ю., Коршунова А.Ю., Курбатова А.И. Интегральная оценка качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 4. – С. 99–106.
4. Арутюнова И.Ю., Калашникова О.Б. Применение метода предварительной аммонизации и хлорирования при подготовке москворецкой воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 10. – С. 18–22.
5. Хлорирование как основной метод обеззараживания питьевой воды / К.Р. Мифтахова, О.Г. Пьянкова, Л.В. Рудакова, И.С. Глушанкова // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2015. – Т. 1. – С. 233–242.
6. Алексеева Л.П. Снижение концентрации хлорорганических соединений, образующихся в процессе подготовки питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 9. – С. 27–34.
7. Головесов В.А., Первов А.Г. Исследование методов снижения концентрации хлорорганических соединений при подготовке питьевой воды // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: XXI Международная научная конференция: сборник материалов семинара «Молодежные инновации». – М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2018. – С. 26–29.
8. Formation of disinfection byproducts in typical Chinese drinking water / W. Liu, Y. Zhao, C.W. Chow, D. Wang // Journal of Environmental Science (China). – 2011. – Vol. 23, № 6. – P. 897–903. DOI: 10.1016/s1001-0742 (10) 60493-7
9. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research / S.D. Richardson, M.J. Plewa, E.D. Wagner, R. Schoeny, D.M. Demarini // Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology. – 2007. – Vol. 636, № 1–3. – P. 178–242. DOI: 10.1016/j.mrrev.2007.09.001
10. Trihalomethanes in urban drinking water: measuring exposures and assessing carcinogenic risk / H. Sadeghi, S. Nasseri, M. Yunesian, A.H. Mahvi, R. Nabizadeh, M. Alimohammadi // Journal of Environmental Health Science and Engineering. – 2019. – Vol. 12, № 17 (2). – P. 619–632. DOI: 10.1007/s40201-019-00374-x
11. DeMarini D.M. A review on the 40th anniversary of the first regulation of drinking water disinfection by-products // Environmental and Molecular Mutagenesis. – 2020. – Vol. 61, № 6. – P. 588–601. DOI: 10.1002/em.22378
12. Evaluating gas chromatography with a halogen-specific detector for the determination of disinfection by-products in drinking water / A. Andersson, M.J. Ashiq, M. Shoeb, S. Karlsson, D. Bastviken, H. Kylin // Environmental Science and Pollution Research International. – 2019. – Vol. 26, № 8. – P. 7305–7314. DOI: 10.1007/s11356-018-1419-2
13. First-trimester blood concentrations of drinking water trihalomethanes and neonatal neurobehavioral development in a Chinese birth cohort / Y.J. Chen, C. Liu, L.L. Huang, S.H. Ai, L. Sun, Z. Huang, J. Li, H.S. Lei [et al.] // Journal of hazardous materials. – 2019. – Vol. 15, № 362. – P. 451–457. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.09.040
14. The assessment of trihalomethanes concentrations in drinking water of Hamadan and Tuyserkan Cities, Western Iran and its health risk on the exposed population / A. Nadali, A. Rahmani, G. Asgari, M. Leili, H.A. Norouzi, A. Naghibi // Journal of Research in Health Sciences. – 2019. – Vol. 6, № 19 (1). – P. e00441.
15. Глазков Д.В. О применении метода предварительной аммонизации воды р. Обь // Вопросы строительства и инженерного оборудования объектов железнодорожного транспорта: материалы научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2017. – 288 с.
16. Внедрение двухступенчатой схемы обеззараживания воды на водопроводных станциях Санкт-Петербурга / А.К. Кинебас, Е.Д. Нефедова, А.В. Бекренев, В.Ю. Яковлев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 2. – С. 36–42.
17. Милешкин С.И. Преаммонизация на станциях водоподготовки в городах с большой протяженностью водопроводных сетей // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности / под ред. Н.Ю. Ермиловой. – 2017. – С. 58–60.
18. Использование сульфата аммония в процессе обеззараживания питьевой воды / А.К. Кинебас, Е.Д. Нефедова, А.В. Бекренев, В.Ю. Яковлев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 6. – С. 49.
19. Архипова Е.Е., Алешко Д.С., Дунаевская Е.В. Применение новых технологий водоподготовки в рамках проекта «Расширение и реконструкция водопровода в городе Хабаровске (вторая очередь)» // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – № 3. – С. 14–21.
20. Влияние обработки донской воды хлорреагентами на образование летучих хлорорганических соединений / Д.Д. Педашенко, Л.Н. Божко, А.Ю. Скрябин, Г.В. Поповьян, Т.И. Ткачева, Л.В. Пелипенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 9. – С. 58–62.
21. Современные технологии подготовки питьевой воды на Слудинской водопроводной станции Нижнего Новгорода / А.А. Павлов, Ч.А. Дзиминскас, С.В. Костюченко, С.Г. Зайцева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 1. – С. 10–16.

22. Горбанев С.А., Федоров В.Н., Тихонова Н.А. О состоянии и совершенствовании управления санитарно-эпидемиологическим благополучием в Арктической зоне Российской Федерации // Экология человека. – 2019. – № 10. – С. 4–14.

Преаммонизация воды на центральных очистных сооружениях водопровода крупного города как средство минимизации рисков для здоровья населения / С.А. Соснина, А.В. Мироновская, Т.Н. Унгуряну, Р.В. Бузинов // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 2. – С. 52–60. DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.05

UDC 613, 614, 616.9
DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.05.eng

Read online

Research article

WATER PREAMMONIZATION AT CENTRAL WATER TREATMENT FACILITIES IN A LARGE CITY AS A WAY TO MINIMIZE HEALTH RISKS

S.A. Sosnina[1], A.V. Mironovskaya[1,2], T.N. Unguryanu[1,2,3], R.V. Buzinov[1,2]

[1]Arkhangelsk Region Department of the Federal Service on Customers' Rights Protection and Human Well-Being Surveillance, 24 Gaidara Str., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation
[2]Northern State Medical University, 51 Troitskii Ave., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation
[3]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, 2 Bldg., 2 Bol'shaya Pirogovskaya Str., Moscow, 119435, Russian Federation

At present chlorine compounds are widely used to disinfect water during water treatment procedures; it stimulates occurrence of toxic chlorinated organic compounds. Water preammonization with ammonia sulfate was implemented at central water treatment facilities in Arkhangelsk.

Our research goal was to assess efficiency of water preammonization at central water treatment facilities in Arkhangelsk.

Our research involved analyzing drinking water quality at central water treatment facilities prior to preammonization was implemented (from January 2016 to July 2017) and after it was implemented (from June 2018 to December 2019). We examined 14,674 water samples prior to water preammonization implementation and 15,165 water samples after it. Water quality was analyzed as per 19 parameters. Non-carcinogenic effects caused by exposure to chemicals in drinking water, prior to and after preammonization, were estimated basing on calculating hazard quotients and indexes. To describe examined parameters, median and 90-th percentile was used. Wilcoxon signed-rank test was applied to reveal differences between water parameters prior to and after preammonization was implemented.

Water preammonization implemented at central water treatment facilities allowed improving drinking water quality at the second lifting and in distribution networks. After preammonization were implemented, aluminum concentration want down by 2.7 times at the second lifting; nitrates concentration, by 1.2 times; chloroform concentration, by 3.5 times ($p<0.001$). Overall microbe number went down by 1.6 times ($p<0.001$). After preammonization was implemented, water turbidity in distribution networks went down by 1.3 times, aluminum and chloroform concentrations fell by 1.7 and 7.3 times accordingly ($p<0,001$). Contribution made by chloroform into hazard indexes decreased by 10–47 % after preammonization was implemented against water treatment performed according to conventional procedures (chlorination).

Water preammonization allowed achieving more qualitative and efficient operating of water supply systems and operational costs reduction; it also resulted in a decrease in concentrations of adverse side products occurring due to disinfection and in achieving higher drinking water quality.

Key words: *water preammonization, ammonia sulfate, water treatment, disinfection products, chlorinated organic compounds, chloroform, drinking water quality, central water treatment facilities, Arkhangelsk.*

© Sosnina S.A., Mironovskaya A.V., Unguryanu T.N., Buzinov R.V., 2021

Svetlana A. Sosnina – Leading expert at the Sanitary Supervision Department (e-mail: stchupakova@yandex.ru; tel.: +7 (8182) 65-27-93; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0241-4111).

Anastasiya V. Mironovskaya – Candidate of Medical Sciences; Deputy Head; Associate Professor at the Department for Hygiene and Medical Ecology (e-mail: miro_av@mail.ru; tel.: +7 (8182) 20-57-23; ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9849-2848).

Tatiana N. Unguryanu – Doctor of Medical Sciences, Chief Expert; Professor at the Department for Hygiene and Medical Ecology; Professor at the Common Hygiene Department (e-mail: unguryanu_tn@mail.ru; tel.: +7 (8182) 21-04-61; ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8936-7324).

Roman V. Buzinov – Doctor of Medical Sciences, Head; Professor at the Department for Hygiene and Medical Ecology (e-mail: arkh@29.rospotrebnadzor.ru; tel.: +7 (8182) 20-05-69; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8624-6452).

References

1. Kosolapov V.P., Chaikina N.N., Sych G.V., Boldyreva E.A., Lastochkina K.S. Analysis of the state of drinking water in the Voronezh region for 2014–2019 years. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 230–239 (in Russian).
2. Stepanov N.A., Zavodova E.I. Characteristics of drinking water quality influence on human health. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2015, no. 3, pp. 200–205 (in Russian).
3. Mikhailichenko K.Yu., Korshunova A.Yu., Kurbatova A.I. Integrated assessment of drinking water quality of water supply systems. *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2014, no. 4, pp. 99–106 (in Russian).
4. Arutyunova I.Yu., Kalashnikova O.B. The use of preammonization and primary chlorination in the process of the Moskva river water purification. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2012, no. 10, pp. 18–22 (in Russian).
5. Miftakhova K.R., P'yankova O.G., Rudakova L.V., Glushankova I.S. Chlorination is the main method of disinfection of drinking water. *Ekologiya i nauchno-tekhnicheskii progress. Urbanistika*, 2015, vol. 1, pp. 233–242 (in Russian).
6. Alekseeva L.P. Snizhenie kontsentratsii khloroorganicheskikh soedinenii, obrazuyushchikhsya v protsesse podgotovki pit'evoi vody [A decrease in concentration of chlorinated organic compounds that occur during drinking water treatment]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2009, no. 9, pp. 27–34 (in Russian).
7. Golovesov V.A., Pervov A.G. Issledovanie metodov snizheniya kontsentratsii khlororganicheskikh soedinenii pri podgotovke pit'evoi vody [A decrease in concentration of chlorinated organic compounds that occur during drinking water treatment]. *Stroitel'stvo – formirovanie sredy zhiznedeyatel'nosti: XXI Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya: sbornik materialov seminara «Molodezhnye innovatsii»*. Moscow, Izdatel'stvo MISI–MGSU Publ., 2018, pp. 26–29 (in Russian).
8. Liu W., Zhao Y., Chow C.W., Wang D. Formation of disinfection byproducts in typical Chinese drinking water. *Journal of Environmental Science (China)*, 2011, vol. 23, no. 6, pp. 897–903. DOI: 10.1016/s1001-0742(10)60493-7
9. Richardson S.D., Plewa M.J., Wagner E.D., Schoeny R., Demarini D.M. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: a review and roadmap for research. *Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology*, 2007, vol. 636, no. 1–3, pp. 178–242. DOI: 10.1016/j.mrrev.2007.09.001
10. Sadeghi H., Nasseri S., Yunesian M., Mahvi A.H., Nabizadeh R., Alimohammadi M. Trihalomethanes in urban drinking water: measuring exposures and assessing carcinogenic risk. *Journal of Environmental Health Science and Engineering,* 2019, vol. 12, no. 17 (2), pp. 619–632.DOI: 10.1007/s40201-019-00374-x
11. DeMarini D.M. A review on the 40th anniversary of the first regulation of drinking water disinfection by-products. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 2020, vol. 61, no. 6, pp. 588–601. DOI: 10.1002/em.22378
12. Andersson A., Ashiq M.J., Shoeb M., Karlsson S., Bastviken D., Kylin H. Evaluating gas chromatography with a halogen-specific detector for the determination of disinfection by-products in drinking water. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2019, vol. 26, no. 8, pp. 7305–7314. DOI: 10.1007/s11356-018-1419-2
13. Chen Y.J., Liu C., Huang L.L., Ai S.H., Sun L., Huang Z., Li J., Lei H.S. [et al.]. First-trimester blood concentrations of drinking water trihalomethanes and neonatal neurobehavioral development in a Chinese birth cohort. *Journal of hazardous materials,* 2019, vol. 15, no. 362, pp. 451–457. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.09.040
14. Nadali A., Rahmani A., Asgari G., Leili M., Norouzi H.A., Naghibi A. The assessment of trihalomethanes concentrations in drinking water of Hamadan and Tuyserkan Cities, Western Iran and its health risk on the exposed population. *Journal of Research in Health Sciences*, 2019, vol. 6, no. 19 (1), pp. e00441.
15. Glazkov D.V. O primenenii metoda predvaritel'noi ammonizatsii vody r. Ob' [On using preliminary ammonization to treat water taken from the Ob' river] *Voprosy stroitel'stva i inzhenernogo oborudovaniya ob"ektov zheleznodorozhnogo transporta: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Novosibirsk, Izd-vo SGUPSa Publ., 2017, 288 p. (in Russian).
16. Kinebas A.K., Nefedova E.D., Bekrenev A.V., Yakovlev V.Yu. Vnedrenie dvukhstupenchatoi skhemy obezzarazhivaniya vody na vodoprovodnykh stantsiyakh Sankt-Peterburga [Implementing a two-stage water treatment procedure at water supply stations in Saint Petersburg]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2010, no. 2, pp. 36–42 (in Russian).
17. Mileshkin S.I. Preammonizatsiya na stantsiyakh vodopodgotovki v gorodakh s bol'shoi protyazhennost'yu vodoprovodnykh setei [Preammonization at water supply stations in cities with long water supply systems]. *Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZhKKh i tekhnosfernoi bezopasnosti*. In: N.Yu. Ermilova ed., 2017, pp. 58–60 (in Russian).
18. Kinebas A.K., Nefedova E.D., Bekrenev A.V., Yakovlev V.Yu. Ispol'zovanie sul'fata ammoniya v protsesse obezzarazhivaniya pit'evoi vody [Ammonia sulfate being used to treat drinking water]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2009, no. 6, pp. 49 (in Russian).
19. Arkhipova E.E., Aleshko D.S., Dunaevskaya E.V. The use of new water treatment technologies within the framework of the project «expansion and reconstruction of a water pipe in Khabarovsk (second phase)». *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie,* 2018, no. 3, pp. 14–21 (in Russian).
20. Pedashenko D.D., Bozhko L.N., Skryabin A.Yu., Popov'yan G.V., Tkacheva T.I., Pelipenko L.V. Vliyanie obrabotki donskoi vody khlorreagentami na obrazovanie letuchikh khlororganicheskikh soedinenii [Impacts exerted by treating water taken from Don with chlorinated reagents on occurrence of volatile chlorinated organic compounds]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2009, no. 9, pp. 58–62 (in Russian).
21. Pavlov A.A., Dziminskas Ch.A., Kostyuchenko S.V., Zaitseva S.G. Sovremennye tekhnologii podgotovki pit'evoi vody na Sludinskoi vodoprovodnoi stantsii Nizhnego Novgoroda [Up-to-date technologies applied for drinking water treatment at Sludinskaya water supply station in Nizhniy Novgorod]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2010, no. 1, pp. 10–16 (in Russian).
22. Gorbanev S.A., Fedorov V.N., Tikhonova N.A. State and improvement of sanitary and epidemiological welfare management in the Russian Arctic. *Ekologiya cheloveka*, 2019, no. 10, pp. 4–14 (in Russian).

Sosnina S.A., Mironovskaya A.V., Unguryanu T.N., Buzinov R.V. Water preammonization at central water treatment facilities in a large city as a way to minimize health risks. Health Risk Analysis, 2021, no. 2, pp. 52–60. DOI: 10.21668/health.risk/2021.2.05.eng

Получена: 17.03.2021
Принята: 04.06.2021
Опубликована: 30.06.2021