



Научная статья

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕАММОНИЗАЦИИ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ КАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ОТ ТРИГАЛОГЕНМЕТАНОВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

Л.А. Дерябкина¹, Б.И. Марченко^{1,2}, Н.К. Плуготаренко², А.И. Юхно²

¹Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области – филиал в городе Таганроге, Россия, 347930, г. Таганрог, Большой проспект, 16а

²Южный федеральный университет, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42

Для большинства регионов Российской Федерации проблема обеспечения населения доброкачественной и безопасной питьевой водой сохраняет высокую актуальность. До настоящего времени основным способом обеззараживания питьевой воды остается метод хлорирования, который отличается высокой эффективностью, надежностью и относительно низкой стоимостью. Однако применение хлора для обеззараживания природной воды, содержащей органические загрязнители, создает риск образования побочных продуктов – тригалогенметанов, которые являются эпигенетическими промоторами канцерогенеза и обуславливают формирование повышенного канцерогенного риска при пероральном, ингаляционном и накожном воздействии.

Осуществлена гигиеническая оценка эффективности применения преаммонизации в технологии водоподготовки для предотвращения образования канцерогенных хлорорганических соединений при обеззараживании питьевой воды методом хлорирования и минимизации канцерогенного риска. Проводилось определение содержания тригалогенметанов и остаточного хлора в модельных пробах природной воды из поверхностного источника водоснабжения после процедуры лабораторного хлорирования различными дозами хлора. Исследованы 52 парные параллельные пробы, подвергавшиеся преаммонизации сульфатом аммония, и контрольные. Определение в модельных пробах воды концентрации тригалогенметанов производилось методом газожидкостной хроматографии.

На основе результатов эксперимента по лабораторному хлорированию речной воды определены количественные характеристики и построены регрессионные модели зависимости концентрации образующихся при обеззараживании воды хлорорганических соединений (хлороформ, дихлорбромметан, дибромхлорметан) от дозы хлора и параметров преаммонизации. Установлено, что максимальная эффективность преаммонизации в отношении предотвращения образования тригалогенметанов обеспечивается при таких режимах обеззараживания, когда содержание остаточного активного хлора не превышает регламентируемых значений (0,8–1,2 мг/л). К основным направлениям минимизации канцерогенного риска от тригалогенметанов относятся: систематический контроль их содержания в питьевой воде при ведении социально-гигиенического мониторинга, предварительная аммонизация при использовании поверхностных водисточников, предотвращение необоснованного гиперхлорирования, предварительная глубокая очистка исходной воды, обеззараживание ультрафиолетовым излучением вместо первичного хлорирования и другие.

Ключевые слова: питьевая вода, хлорирование воды, тригалогенметаны, хлороформ, дихлорбромметан, дибромхлорметан, злокачественные новообразования, канцерогенный риск, оценка риска здоровью, социально-гигиенический мониторинг.

Для большинства регионов Российской Федерации проблема обеспечения населения доброкачественной и безопасной питьевой водой сохраняет свою актуальность [1, 2]. При этом наиболее распространенным методом обеспечения безопасности

воды систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения в эпидемическом отношении остается ее обеззараживание хлором или хлорсодержащими реагентами. Метод хлорирования выгодно отличают высокая эффективность и надеж-

© Дерябкина Л.А., Марченко Б.И., Плуготаренко Н.К., Юхно А.И., 2020

Дерябкина Людмила Александровна – кандидат медицинских наук, главный врач (e-mail: tagcgsen@pbox.ttn.ru; тел.: 8 (863) 464-29-62; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0790-0365>).

Марченко Борис Игоревич – доктор медицинских наук, доцент, профессор Института нанотехнологий, электроники и приборостроения, врач-эпидемиолог отделения социально-гигиенического мониторинга (e-mail: borismarch@gmail.com; тел.: 8 (863) 437-16-24; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6173-329X>).

Плуготаренко Нина Константиновна – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой техносферной безопасности и химии Института нанотехнологий, электроники и приборостроения (e-mail: plugotarenko@mail.ru; тел.: 8 (863) 437-16-35; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0853-8510>).

Юхно Александра Игоревна – аспирант Института высоких технологий и пьезотехники (e-mail: a.bachmackaja@gmail.com; тел.: 8 (863) 243-48-11; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9871-9261>).

ность, выраженный эффект последствия за счет остаточного содержания хлора в распределительной сети водопровода, а также относительная дешевизна [3–5]. В то же время хлорирование воды из поверхностных водоисточников, содержащей органические соединения природного и антропогенного происхождения, может являться причиной образования таких побочных продуктов, как тригалогенметаны, в том числе хлороформа (трихлорметана), дихлорбромметана, дибромхлорметана и других. Вероятность образования тригалогенметанов линейно возрастает при увеличении продолжительности нахождения воды в резервуарах и распределительной сети водопровода, зависит от ее температуры, применяемой дозы хлорсодержащих реагентов на очистных сооружениях и содержания остаточного хлора [6–13]. Наличие в питьевой воде хлороформа и других тригалогенметанов, обладающих свойствами эпигенетических промоторов канцерогенеза в условиях многомаршрутной экспозиции при пероральном, ингаляционном и накожном воздействии, приводит к формированию повышенных уровней как потенциального канцерогенного, так и неканцерогенного риска, проявляющегося в росте частоты патологии печени, почек, миокарда, системы крови, нервной и нейроэндокринной систем [14–23]. Это обуславливает необходимость внедрения таких технологий водоподготовки, которые обеспечивают предотвращение или минимизацию образования тригалогенметанов в питьевой воде централизованных систем водоснабжения, например, ее обеззараживание методом ультрафиолетового облучения, применение преаммонизации с последующим хлорированием и других [24].

Цель работы – гигиеническая оценка эффективности применения преаммонизации для предупреждения образования тригалогенметанов при обеззараживании воды из поверхностного водоисточника системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения методом хлорирования.

Материалы и методы. Экспериментальная часть исследования включала в себя определение содержания тригалогенметанов и остаточного хлора в модельных пробах природной воды из основного поверхностного источника системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Таганрога (река Дон) после процедуры лабораторного хлорирования различными дозами хлора при учете показателей ее хлорпоглощаемости. Всего были исследованы 52 парные параллельные пробы: экспериментальные, которые подвергались процедуре преаммонизации с применением в качестве реагента сульфата аммония, и контрольные, без предварительной аммонизации. Определение концентрации

тригалогенметанов в модельных пробах воды производилось в соответствии с ГОСТ Р 51392-99¹. Результаты экспериментов подвергались статистической обработке, при этом применялись как традиционные методы вариационной статистики, так и построение нелинейных регрессионных моделей зависимости концентрации хлороформа, дихлорбромметана и дибромхлорметана от содержания суммарного остаточного активного хлора. В работе использовано программное обеспечение собственной разработки, реализующее процедуры статистической обработки результатов экспериментов и математического моделирования, включая программы Turbo Dynamics, version 1.02 (анализ многолетней динамики, экстраполяционное прогнозирование), и Turbo Correlation, version 1.1 (нелинейный и множественный корреляционный и регрессионный анализ), а также профессиональный пакет статистических программ IBM SPSS Statistics (Statistical Package for Social Science), version 19.0.

Результаты и их обсуждение. Высокая актуальность выявления потенциальных факторов канцерогенного риска в г. Таганроге Ростовской области с населением около 250 тысяч человек определяется крайне неблагоприятной ситуацией по заболеваемости злокачественными новообразованиями при ее среднемноголетнем уровне за последние 15 лет, составляющем 486,42 ‰, что превышает показатель для городского населения Ростовской области в 1,31 раза и соответствует первому ранговому месту. Среднегодовой темп прироста многолетней тенденции общей онкологической заболеваемости за указанный период составляет +1,07 %, а в ее структуре приоритетными локализациями являются кожа, без учета меланомы (14,81 %), молочная железа (13,08 %), трахея, бронхи и легкое (9,22 %), ободочная кишка (6,94 %) и желудок (6,49 %).

Система централизованного водоснабжения населения г. Таганрога смешанная, обеспечивается водой как из поверхностных (реки Дон и Миус), так и из подземных источников (два территориально обособленных грунтовых водозабора). Речная вода на очистных сооружениях подвергается двухступенчатой водоподготовке на горизонтальных отстойниках и скорых фильтрах с коагуляцией, преаммонизацией сульфатом аммония и двойным хлорированием хлорной водой в качестве реагента.

Результаты гигиенической оценки качества питьевой воды по данным филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ростовской области» в г. Таганроге о содержании в ней хлороформа (трихлорметана), дихлорбромметана и дибромхлорметана свидетельствуют об относительно благополучной

¹ ГОСТ Р 51392-99. Вода питьевая. Определение содержания летучих галогенорганических соединений газожидкостной хроматографией [Электронный ресурс] / Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 15 декабря 1999 г. № 515-ст // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51392-99> (дата обращения: 03.08.2020).

ситуации. Так, по результатам исследования 276 проб за период 2012–2019 гг. превышение ПДК хлороформа обнаружено в единичной пробе (0,36 %), случаев сверхнормативного содержания дихлорбромметана и дибромхлорметана зарегистрировано не было. Оценка потенциального канцерогенного риска проведена на основе обоснованных максимальных экспозиций, рассчитанных как верхние границы 95%-ных доверительных интервалов средних концентраций тригалогенметанов [25]. Установлено, что уровень суммарного индивидуального канцерогенного риска, обусловленного пероральным поступлением тригалогенметанов с водопроводной водой (CR_{wo}), в целом за весь 8-летний период наблюдения оценивается как предельно допустимый ($6,91 \cdot 10^{-6}$) с приоритетным долевым вкладом в него дибромхлорметана (55,8 %). При этом вклад в указанный показатель хлороформа ($7,09 \cdot 10^{-7}$) является пренебрежимо малым, соответствующим уровню *De minimis*. Также был диагностирован предельно допустимый уровень ($2,27 \cdot 10^{-6}$) суммарного индивидуального канцерогенного риска за счет ингаляционного поступления тригалогенметанов из водопроводной воды (CR_{wi}), но при наибольшем долевым вкладе дихлорбромметана (54,3 %). Уровень индивидуального канцерогенного риска за счет кожного экспозиции тригалогенметанов (CR_{wd}) оказался пренебрежимо мал ($6,11 \cdot 10^{-7}$). Таким образом, диагностирован предельно допустимый уровень общего индивидуального многомаршрутного канцерогенного риска (TCR_w), обусловленного тригалогенметанами, содержащимися в воде системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Таганрога, по данным за период 2012–2019 гг. ($9,79 \cdot 10^{-6}$) с долевыми вкладами перорального, ингаляционного и кожного путей воздействия: 70,6; 23,2 и 6,2 % соответственно. Общий пожизненный популяционный многомаршрутный канцерогенный риск ($TPCR_w$) за счет реализации перорального, ингаляционного и кожного воздействия хлороформа, дихлорбромметана и дибромхлорметана по данным за рассматриваемый восьмилетний период наблюдения составляет 2,477. При этом анализ многолетней динамики годовых показателей общего популяционного многомаршрутного канцерогенного риска ($TPCRA_w$) с его варьированием в диапазоне от $5,91 \cdot 10^{-3}$ до $1,16 \cdot 10^{-1}$ говорит о сформировавшейся тенденции к снижению при среднегодовом темпе ее прироста – 37,17 %. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности применяемого на очистных сооружениях городского водопровода комбинированного метода обеззараживания – сочетания обеззараживания методом хлорирования с преаммонизацией сульфатом аммония, который связывает вводимый хлор с образованием хлораминов, что предотвращает образование тригалогенметанов.

Настоящим исследованием было продолжено экспериментальное изучение эффективности приме-

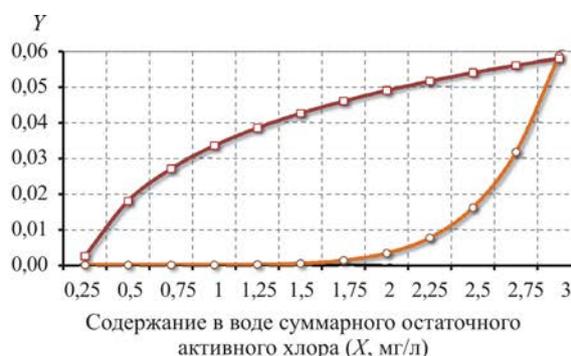
нения предварительной аммонизации в технологии водоподготовки с выходом на количественное моделирование зависимости концентраций образующихся в модельных пробах воды тригалогенметанов (хлороформа, дихлорбромметана и дибромхлорметана) от параметров преаммонизации сернокислым аммонием в условиях лабораторного хлорирования (от 0,7 до 3,0 мг/дм³) с учетом хлорпоглощаемости воды и определением остаточного хлора [26]. Одновременно проводились исследования контрольных проб воды, подвергнутых хлорированию аналогичными дозами хлора без проведения предварительной аммонизации. После получасовой экспозиции методом газожидкостной хроматографии определялось содержание тригалогенметанов в модельных пробах воды, а также измерялось содержание суммарного остаточного активного хлора. Результаты исследований подтверждают, что, во-первых, концентрации образующихся тригалогенметанов нелинейно возрастают по мере увеличения дозы вводимого хлора; во-вторых, содержание тригалогенметанов в контрольных пробах воды существенно превышает соответствующие показатели проб воды, подвергшихся предварительной аммонизации. При этом максимальная эффективность преаммонизации была установлена при режимах хлорирования, которые обеспечивают содержание суммарного остаточного активного хлора в пределах гигиенического регламента (0,8–1,2 мг/дм³). Так, при содержании суммарного остаточного активного хлора в экспериментальных пробах воды, равном 1,2 мг/л, концентрация хлороформа в них была ниже, чем в контрольных пробах в 7,29 раза, а в отношении дихлорбромметана и дибромхлорметана коэффициент эффективности преаммонизации оказался существенно выше – 16,33 и 59,01 соответственно.

На основе полученных экспериментальных данных выявлены сильные прямые статистически значимые корреляционные связи между концентрациями определяемых в модельных пробах воды тригалогенметанов и содержанием суммарного остаточного активного хлора, которые наиболее адекватно описываются нелинейными регрессионными моделями по типу степенной кривой для экспериментальных проб с применением преаммонизации и логарифмической кривой для контрольных проб без предварительной аммонизации (таблица).

Построенные нелинейные регрессионные модели наглядно демонстрируют неблагоприятный эффект, заключающийся в том, что при увеличении содержания суммарного остаточного активного хлора свыше гигиенического норматива (0,8–1,2 мг/дм³), которое наблюдается, в частности, при обеззараживании воды в режиме гиперхлорирования, эффективность преаммонизации в отношении предотвращения образования в воде тригалогенметанов прогрессивно снижается (рисунок).

Нелинейные регрессионные модели зависимости концентрации тригалогенометанов от содержания суммарного остаточного активного хлора после лабораторного обеззараживания проб природной речной воды

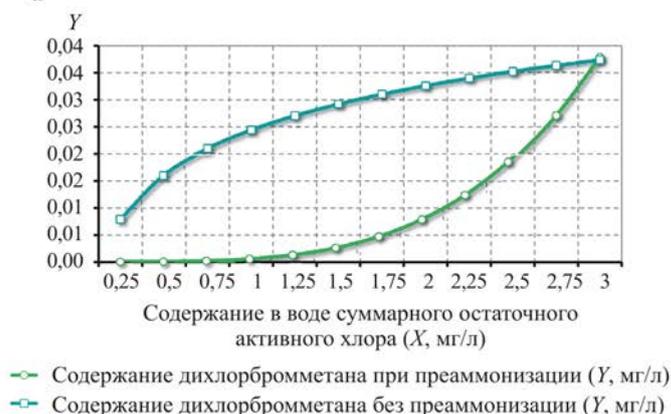
Наименование тригалогенметана	Условия лабораторного хлорирования модельного раствора	Нелинейные регрессионные модели			
		Коэффициент корреляции (r_{YX})	Статистическая значимость (p -уровень)	Тип линии регрессии	Нелинейные модели зависимости концентрации тригалогенметана (Y) от содержания в воде суммарного остаточного активного хлора (X)
Хлороформ	С предварительной аммонизацией	0,838	<0,01	Степенная кривая	$Y = 0,000737 \cdot X^{3,822}$
	Без предварительной аммонизации	0,745	<0,05	Логарифмическая кривая	$Y = 0,023445 + 0,019443 \cdot \log(X)$
Дибромхлорметан	С предварительной аммонизацией	0,808	<0,01	Степенная кривая	$Y = 0,000024 \cdot X^{7,102467}$
	Без предварительной аммонизации	0,817	<0,01	Логарифмическая кривая	$Y = 0,033443 + 0,051431 \cdot \log(X)$
Дихлорбромметан	С предварительной аммонизацией	0,739	<0,05	Степенная кривая	$Y = 0,000551 \cdot X^{3,849085}$
	Без предварительной аммонизации	0,851	<0,01	Логарифмическая кривая	$Y = 0,024353 + 0,027236 \cdot \log(X)$



—○— Содержание хлороформа при преаммонизации (Y , мг/л) —○— Содержание дибромхлорметана при преаммонизации (Y , мг/л)
 —□— Содержание хлороформа без преаммонизации (Y , мг/л) —□— Содержание дибромхлорметана без преаммонизации (Y , мг/л)

а

б



в

Рис. Нелинейные регрессионные модели зависимости концентрации от содержания суммарного остаточного активного хлора в модельных пробах природной воды: а – хлороформа; б – дибромхлорметана; в – дихлорбромметана

Выводы. Таким образом, на основе полученных результатов экспериментального исследования можно сделать вывод, что максимальная эффективность применения преаммонизации в целях предотвращения или минимизации образования изучаемых тригалогенметанов (хлороформа, дихлорбромметана и дибромхлорметана) при водоподготовке требует

таких режимов хлорирования, при которых содержание суммарного остаточного активного хлора не превышает регламентируемых величин. Процедура предварительной аммонизации, эффективность которой объясняется связыванием хлора за счет образования хлораминов, обуславливает существенное снижение окислительно-восстановительного потен-

циала системы «природная вода – хлор» и хлоропоглощаемости воды, так как окислительный потенциал хлораминов значительно меньше, чем у свободного хлора. При этом выраженное снижение эффективности предварительной аммонизации в случаях применения завышенных доз хлора можно связать с двойным эффектом, который проявляется при малой хлоропоглощаемости воды. Во-первых, избыток активного хлора в условиях проведения гиперхлорирования воды обуславливает существенную интенсификацию процессов окисления с деструкцией образовавшегося в ней за счет проведения преаммонизации монохлорамина, и, как следствие, образуется дополнительное количество свободного активного хлора. Во-вторых, избыток свободного активного хлора, взаимодействуя с органическими веществами, содержащимися в природной воде, приводит к увеличению содержания в ней тригалогенметанов.

Как перспективные меры по снижению потенциального канцерогенного риска от тригалогенме-

танов, наряду с систематическим контролем их содержания в питьевой воде, в том числе при ведении социально-гигиенического мониторинга, применением предварительной аммонизации в технологии водоподготовки и максимально точной дозировкой хлора при обеззараживании воды поверхностных источников, рассматриваются, во-первых, глубокая очистка природной воды до проведения ее хлорирования в целях минимизации содержания органических веществ, являющихся предшественниками тригалогенметанов, во-вторых, использование метода постхлорирования на заключительных этапах водоподготовки с исключением первичного хлорирования и, в-третьих, переход на безреагентные методы обеззараживания водопроводной воды, например ультрафиолетовым излучением.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Актуальные проблемы обеспечения населения доброкачественной питьевой водой и пути их решения / Ю.А. Рахманин, Р.И. Михайлова, Л.Ф. Кирьянова, Л.Ф. Севостьянова, И.Н. Рыжова, А.Ю. Савронский // Вестник РАМН. – 2006. – № 4. – С. 9–17.
2. Региональные проблемы обеспечения гигиенической надежности питьевого водопользования / А.В. Тулакин, Г.В. Цыплакова, Г.П. Амплеева, О.Н. Козырева, О.С. Пивнева, Г.М. Трухина // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 11. – С. 1025–1028.
3. Соколова Н.Ф. Средства и способы обеззараживания воды (аналитический обзор) // Медицинский алфавит. – 2013. – Т. 1, № 5. – С. 44–54.
4. Муллина Э.Р. Химические аспекты процесса хлорирования воды // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – Т. 4, № 12. – С. 609–613.
5. Хлорирование как основной метод обеззараживания 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. Славинская Г.В. Влияние хлорирования на качество питьевой воды // Химия и технология воды. – 1991. – Т. 13, № 11. – С. 28–43.
7. Луцевич И.Н. Гигиеническая оценка трансформации сложных органических веществ, образующихся в результате обеззараживания питьевой воды хлором // Казанский медицинский журнал. – 2003. – Т. 84, № 2. – С. 142–145.
8. Кантор Л.И., Харабрин С.В. Некоторые закономерности образования тригалогенметанов при обеззараживании воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 4–2. – С. 45–47.
9. Wong H., Mok K.M., Fan X.J. Natural organic matter and formation of trihalomethanes in two water treatment processes // Desalination. – 2007. – Vol. 210, № 1–3. – P. 44–51. DOI: 10.1016/j.desal.2006.05.031
10. Richardson S.D. Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water // Trends in Analytical Chemistry. – 2003. – Vol. 22, № 10. – P. 666–684. DOI: 10.1016/S0165-9936(03)01003-3
11. Reckhow D.A., Singer P.C. Chlorination By-products in Drinking Waters: From Formation Potentials to Finished Water Concentrations // Journal AWWA. – 1990. – № 4. – P. 173–180. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1990.tb06949.x
12. Climatic, Geographic and Operational Determinants of Trihalomethanes (THMs) in Drinking Water Systems / M. Valdivia-Garcia, P. Weir, Z. Frogbrook, D. Graham, D. Werner // Aqua. – 2016. – Vol. 6. – P. 318–323. DOI: 10.1038/srep35027
13. Nokes C.J., Fenton E., Randall C.J. Modelling the formation of brominated trihalomethanes in chlorinated drinking waters // Water research. – 1999. – Vol. 33, № 17. – P. 3557–3568. DOI: 10.1016/S0043-1354(99)00081-0
14. Опыт установления и доказывания вреда здоровью населения вследствие потребления питьевой воды, содержащей продукты гиперхлорирования / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн, Э.В. Седусова // Здоровье населения и среда обитания. – 2015. – № 12. – С. 16–18.
15. Егорова Н.А., Букшук А.А., Красовский Г.Н. Гигиеническая оценка продуктов хлорирования питьевой воды с учетом множественности путей поступления в организм // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 2. – С. 18–24.
16. Влияние условий водопользования на онкозаболеваемость населения / П.В. Журавлев, В.В. Алешина, Т.В. Шелякина, С.В. Головина // Гигиена и санитария. – 2000. – № 6. – С. 28–30.
17. Красовский Г.Н., Егорова Н.А. Хлорирование воды как фактор повышенной опасности для здоровья населения // Гигиена и санитария. – 2003. – № 1. – С. 17–21.
18. Стойкие хлорорганические соединения как фактор риска развития рака молочной железы / Т.И. Ушакова, Б.А. Ревич, Е.М. Аксель, В.Ф. Левшин // Вопросы онкологии. – 2002. – Т. 48, № 3. – С. 293–300.

19. Канцерогенная опасность хлороформа и других побочных продуктов хлорирования питьевой воды / И.А. Черниченко, А.М. Сердюк, О.Н. Литовченко, Н.В. Баленко // Гигиена и санитария. – 2009. – № 3. – С. 28–32.
20. Сопоставление качества питьевой воды по содержанию тригалогенметанов с заболеваемостью населения / М.А. Малкова, А.В. Жигалова, А.А. Хузиахметова, Н.Н. Егорова, М.Ю. Вожаева, Е.А. Кантор // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 3. – С. 145–146.
21. Hrudey S.E. Chlorination disinfection by-products, public health risk tradeoffs and me // Water research. – 2009. – Vol. 43. – P. 2057–2092.
22. Hood E. Tap Water and Trihalomethanes: Flow of Concerns Continues // Environ Health Perspect. – 2005. – Vol. 113, № 7. – P. A474.
23. Cantor K.P. Carcinogens in drinking water: the epidemiologic evidence // Reviews on Environmental Health. – 2010. – Vol. 25, № 1. – P. 9–16. DOI: 10.1515/reveh.2010.25.1.9
24. Снижение содержания хлорорганических соединений в питьевой воде / Е.Г. Калашникова, И.Ю. Арутюнова, Е.Н. Горина, О.Б. Калашникова, Б.В. Малышев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 10–1. – С. 11–17.
25. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева. – М.: Изд-во НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
26. Юхно А.И., Плуготаренко Н.К. Анализ образования хлорпроизводных соединений в питьевой воде // Технологии техносферной безопасности. – 2018. – Т. 79, № 3. – С. 28–35.

Оценка эффективности применения преаммонизации в целях снижения канцерогенного риска от тригалогенметанов в питьевой воде / Л.А. Дерябкина, Б.И. Марченко, Н.К. Плуготаренко, А.И. Юхно // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 70–77. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.08

UDC 614.7
DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.08.eng



Research article

ASSESSING EFFICIENCY OF PRE-AMMONIZATION AIMED AT REDUCING CARCINOGENIC RISKS CAUSED BY TRIHALOMETHANES IN DRINKING WATER

L.A. Deryabkina¹, B.I. Marchenko^{1,2}, N.K. Plugotarenko², A.I. Yukhno²

¹Center for Hygiene and Epidemiology in Rostov Region, Taganrog Office, 16a Bol'shoi Ave., Taganrog, 347930, Russian Federation

²Southern Federal University, 105/42 Bol'shaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

In most Russian regions there is still a pressing issue related to providing population with high quality and safe drinking water. Up to now, chlorination has been the primary technique applied to disinfect drinking water as it is highly efficient, reliable, and relatively cheap. However, when chlorine is used to disinfect natural water that contains organic pollutants, it results in risks of by-products occurrence. These products are trihalomethanes, epigenetic carcinogenesis promoters that cause elevated carcinogenic risks under oral, inhalation, and subcutaneous exposure.

© Deryabkina L.A., Marchenko B.I., Plugotarenko N.K., Yukhno A.I., 2020

Lyudmila A. Deryabkina – Candidate of Medical Sciences, Chief Physician of the branch (e-mail: tagcgnsen@pbox.ttn.ru; tel.: +7 (863) 464-29-62; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0790-0365>).

Boris I. Marchenko – Doctor of Medical Sciences, Docent, Professor, Epidemiologist of the branch (e-mail: borismarch@gmail.com; tel.: +7 (863) 437-16-24; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6173-329X>).

Nina K. Plugotarenko – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department of technosphere safety and (e-mail: plugotarenko@mail.ru; tel.: +7 (863) 437-16-35; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0853-8510>).

Aleksandra I. Yukhno – Postgraduate of the Institute of high technologies and piezotechnics (e-mail: a.bachmackaja@gmail.com; tel.: +7 (863) 243-48-11; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9871-9261>).

Our research goal was to hygienically assess efficiency of pre-ammonization applied in water treatment procedures in order to prevent occurrence of carcinogenic organic chlorine compounds during chlorination and to minimize carcinogenic risks. We determined trihalomethanes and residual chlorine contents in model samples of natural water taken from a surface water source after chlorination with different doses of chlorine. We examined 52 pair parallel samples that had undergone pre-ammonization with ammonia sulfate and control ones. Trihalomethanes concentrations were determined in model water samples with gas-liquid chromatography.

Basing on the results obtained via experiments on laboratory chlorination of river water, we determined quantitative characteristics and built regression models showing dependence between concentrations of organic chlorine compounds occurring due to chlorination (chloroform, dichlorobrommethane, dibromchloromethane) and chlorine doses and pre-ammonization parameters. It was established that pre-ammonization was the most efficient in terms of preventing trihalomethanes occurrence under such disinfection modes when contents of residual active chlorine didn't exceed recommended levels (0.8–1.2 mg/L). Basic ways to minimize carcinogenic risks caused by trihalomethanes are systemic control over their contents in drinking water during social and hygienic monitoring procedures; preliminary ammonization of water taken from surface water sources; prevention of unjustified hyper-chlorination; preliminary deep purification of initial water; disinfection with ultrasonic radiating instead of preliminary chlorination; etc.

Key words: drinking water, chlorination, trihalomethanes, chloroform, dichlorobrommethane, dibromchloromethane, malignant neoplasms, carcinogenic risk, health risk assessment, social and hygienic monitoring.

References

1. Rakhmanin Yu.A., Mikhaylova R.I., Kiryanova L.F., Sevostyanova Ye.M., Ryzhova I.N., Skovronsky A.Yu. Important problems of high quality drinking water supply, and the ways of their solution. *Vestnik RAMN*, 2006, no. 4, pp. 9–17 (in Russian).
2. 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 sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 11, pp. 1025–1028 (in Russian).
3. Sokolova N.F. Sredstva i sposoby obezzarazhivaniya vody (analiticheskii obzor) [Ways and means for water disinfection (analytical review)]. *Meditsinskii alfavit*, 2013, vol. 1, no. 5, pp. 44–54 (in Russian).
4. Mullina E.R. Chemical aspects of the process of water chlorination. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2016, vol. 4, no. 12, pp. 609–613 (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-tehnicheskii progress. Urbanistika*, 2015, vol. 1, pp. 233–242 (in Russian).
6. Slavinskaya G.V. Chlorination effect on quality of drinking water. *Khimiya i tekhnologiya vody*, 1991, vol. 13, no. 11, pp. 28–43 (in Russian).
7. Lutsevich I.N. Hygienic estimation of transformation of complex organic substances resulting from decontamination of water by chlorine. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*, 2003, vol. 84, no. 2, pp. 142–145 (in Russian).
8. Kantor L.I., Kharabrin S.V. some regularities of trihalogenomethanes formation during the water disinfection. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2004, no. 4–2, pp. 45–47 (in Russian).
9. Wong H., Mok K.M., Fan X.J. Natural organic matter and formation of trihalomethanes in two water treatment processes. *Desalination*, 2007, vol. 210, no. 1–3, pp. 44–51. DOI: 10.1016/j.desal.2006.05.031
10. Richardson S.D. Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water. *Trends in Analytical Chemistry*, 2003, vol. 22, no. 10, pp. 666–684. DOI: 10.1016/S0165-9936(03)01003-3
11. Reckhow D.A., Singer P.C. Chlorination By-products in Drinking Waters: From Formation Potentials to Finished Water Concentrations. *Journal AWWA*, 1990, no. 4, pp. 173–180. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1990.tb06949.x
12. Valdivia-Garcia M., Weir P., Frogbrook Z., Graham D., Werner D. Climatic, Geographic and Operational Determinants of Trihalomethanes (THMs) in Drinking Water Systems. *Aqua*, 2016, vol. 6, pp. 318–323. DOI: 10.1038/srep35027
13. Nokes C.J., Fenton E., Randall C.J. Modeling the formation of brominated trihalomethanes in chlorinated drinking waters. *Water research*, 1999, vol. 33, no. 17, pp. 3557–3568. DOI: 10.1016/S0043-1354(99)00081-0
14. Zaitseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Sedusova E.V. An experience of establishing and proving of harm to the public health caused by consumption of drinking water containing hyperchlorination products. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2015, no. 12, pp. 16–18 (in Russian).
15. Egorova N.A., Bukshuk A.A., Krasovskii G.N. Hygienic assessment of drinking water chlorination by-products in view of multiroute exposure. *Gigiena i sanitariya*, 2013, vol. 92, no. 2, pp. 18–24 (in Russian).
16. Zhuravlev P.V., Aleshnya V.V., Shelyakina T.V., Golovina S.V. Vliyanie uslovii vodopol'zovaniya na onkozabolevaemost' naseleniya [Influence exerted by conditions of water use on oncologic morbidity among population]. *Gigiena i sanitariya*, 2000, no. 6, pp. 28–30 (in Russian).
17. Krasovskii G.N., Egorova N.A. Chlorination of water as a high hazard to human health. *Gigiena i sanitariya*, 2003, no. 1, pp. 17–21 (in Russian).
18. Ushakova T.I., Revich B.A., Akse! E.M., Levshin V.F. Stoikie khlorganicheskie soedineniya kak faktor riska razvitiya raka molochnoi zhelezy [Resistant organic chlorine compounds as carcinogenic risk factor causing breast cancer]. *Voprosy onkologii*, 2002, vol. 48, no. 3, pp. 293–300 (in Russian).
19. Chernichenko I.A., Serdyuk A.M., Litovchenko O.N., Balenko N.V. Carcinogenic hazard of chloroform and other drinking water chlorination by-products. *Gigiena i sanitariya*, 2009, no. 3, pp. 28–32 (in Russian).

20. Malkova M.A., Zhigalova A.V., Khuziakhmetova A.A. Egorova, N.N., Vozhdaeva M.Yu., Kantor E.A. Comparison of the quality of drinking water with the incidence of the population on the content of trihalomethanes. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 3, pp. 145–146 (in Russian).

21. Hrudey S.E. Chlorination disinfection by-products, public health risk tradeoffs and me. *Water research*, 2009, vol. 43, pp. 2057–2092.

22. Hood E. Tap Water and Trihalomethanes: Flow of Concerns Continues. *Environ Health Perspect*, 2005, vol. 113, no. 7, pp. A474.

23. Cantor K.P. Carcinogens in drinking water: the epidemiologic evidence. *Reviews on Environmental Health*, 2010, vol. 25, no. 1, pp. 9–16. DOI: 10.1515/reveh.2010.25.1.9

24. Kalashnikova E.G., Arutyunova I.Yu., Gorina E.N., Kalashnikova O.B., Malyshev B.V. Reduction in the content of organochlorine compounds in potable water. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2005, no. 10–1, pp. 11–17 (in Russian).

25. Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeistvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu [Basics of health risk assessment under exposure to chemicals that pollute the environment]. Moscow, NII ECh i GOS Publ., 2002, 408 p. (in Russian).

26. Yuhno A.I., Plugotarenko N.K. Analysis of the formation of organochlorine compounds in drinking water. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2018, vol. 3, no. 79, pp. 28–35 (in Russian).

Deryabkina L.A., Marchenko B.I., Plugotarenko N.K., Yuhno A.I. Assessing efficiency of pre-ammonization aimed at reducing carcinogenic risks caused by trihalomethanes in drinking water. Health Risk Analysis, 2020, no. 3, pp. 70–77. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.08.eng

Получена: 09.06.2020

Принята: 18.08.2020

Опубликована: 30.09.2020