



*Рисунок 10*

Нарушение сна наиболее выражено у лиц мужского пола с выявленными признаками нарушений функции щитовидной железы, что является одним из факторов риска, способствующих развитию и прогрессированию компонентов МС. Поэтому мы проводим дальнейшие исследования для повышения эффективности оказания профилактических мероприятий и коррекционных программ студентам с выявленными факторами риска развития МС. Важная роль при этом отводится рациональному режиму сна и бодрствования, умственной и физической деятельности, гигиеническому воспитанию и повышению медицинской информированности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-портал министерства здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by/>. – Дата доступа: 21.01.2022
2. Ковальзон В. М. Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла «бодрствование-сон» // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. - 2012. – 239 с.
3. Полуэктов М. Г. Нарушения сна в молодом возрасте: инсомнии и расстройства дыхания во сне // Лечащий Врач. 2011; 5: с.10–15.
4. Полуэктов М. Г. Эндокринная система и нарушения сна / Под ред. Левина Я. И. Полуэктова М. Г. Сомнология и медицина сна. М., 2013.с. 408–422.
5. Ragusa F., Fallahi P., Elia G. et al. Hashimoto's thyroiditis: epidemiology, pathogenesis, clinic and therapy // Best. Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab. 2019. Vol. 33. № 6. P. 101367.
6. Taylor P.N., Albrecht D., Scholz A. et al. Global epidemiology of hyperthyroidism and hypothyroidism // Nat. Rev. Endocrinol. 2018. Vol. 14. № 5. P. 301–316.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ

### METHODOLOGICAL APPROACHES TO HEALTH RISKS ASSESSMENT DUE TO EXPOSURE OF VOLATILE ORGANIC CHEMICALS IN DRINKING WATER

**Е. В. Дроздова, И. А. Просвирякова,  
Т. З. Суровец, А. В. Фираго, Н.А. Долгина, Н. В. Буневич  
A. Drazdova, I. Prasvirakova, T. Suravets, H. Firaho, N. Dalhina, N. Bunevich**

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,  
Минск, Республика Беларусь  
water@rspch.by*

*Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene», Minsk, Republic of Belarus*

Хлорирование питьевой воды остается традиционным, экономически целесообразным, наиболее распространенным методом обеззараживания воды поверхностных источников водоснабжения, а также

является источником поступления в питьевую воду побочных продуктов дезинфекции – тригалометанов, обладающих потенциальными отдаленными эффектами воздействия на здоровье. В работе представлены результаты апробации метода оценки риска здоровью населения, ассоциированного с содержанием указанных веществ в питьевой воде с учетом множественности путей их поступления. Показано, что суммарный потенциальный канцерогенный риск значительно выше при учете трех путей поступления в сравнении с только пероральным путем поступления, наибольший вклад вносит ингаляционный путь. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета множественных путей поступления при гигиенической регламентации летучих органических соединений в питьевой воде и оценке рисков здоровью для обоснования реализаций мероприятий по его снижению.

Chlorination of drinking water remains the traditional, economically feasible, most common method of disinfecting water from surface water sources, and there is also a source of disinfection by-products – trihalomethanes with potentially long-term effects properties. The work presents the results of testing the method of assessing the risk to public health associated with the content of these substances in drinking water, taking into account the multiplicity of paths of entry. It is shown that the total potential carcinogenic risk is significantly higher when taking into account the three pathways of entry compared with only the oral route of entry, the greatest contribution is made by the inhalation route. The results obtained testify to the necessity of taking into account multiple pathways of exposure for hygienic regulation of volatile organic compounds in drinking water and health risk assessment in order to substantiate the implementation of measures to reduce it.

*Ключевые слова:* питьевая вода, здоровьесбережение, хлорирование, тригалометаны, хлороформ, оценка рисков здоровью.

*Keywords:* drinking water, health protection, chlorination, trihalomethanes, chloroform, health risk assessment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-77-80>

Обеспечение населения питьевой водой надлежащего качества и безопасности, выявление факторов риска для здоровья населения, ассоциированного с качеством питьевой воды, является одним из наиболее существенных и эффективных инструментов профилактики инфекционной (неинфекционной) заболеваемости и укрепления здоровья населения.

Хлорирование питьевой воды остается традиционным, экономически целесообразным и, соответственно, наиболее распространенным методом обеззараживания воды поверхностных источников водоснабжения [1]. Одновременно с выполнением своей основной функции – предупреждение инфекционных заболеваний, ассоциированных с водным фактором, применение наиболее распространенных способов обеззараживания воды (реагентных) может приводить к образованию побочных продуктов дезинфекции. Высокое содержание органических веществ в поверхностных водах приводит к образованию большего количества побочных продуктов дезинфекции по сравнению с подземными водами. Так, хлорирование может быть источником поступления в питьевую воду более 700 веществ (побочных продуктов), ряд из которых обладают отдаленными эффектами воздействия, например, тригалометаны (далее – ТГМ) [2, 3]. Употребление питьевой воды, содержащей побочные продукты хлорирования (хлороформ, дихлорбромметан, хлордибромметан и бромформ и другие ТГМ) в повышенных концентрациях повышает риски развития рака мочевого пузыря, рака прямой кишки, нарушения течения беременности у женщин (задержка внутриутробного развития плода, снижение массы тела новорожденных, преждевременные роды, врожденные дефекты развития плода). Часть побочных продуктов дезинфекции обладают канцерогенными свойствами – по данным Агентства по охране окружающей среды США (USEPA) по степени доказанности канцерогенного действия на человека относятся к группам B1, B2 и C [2, 3].

Особая значимость ТГМ обусловлена тем, что они являются летучими органическими соединениями и комплексно поступают в организм человека при использовании хлорированной воды в питьевых и хозяйственно-бытовых целях. Величина потенциального риска здоровью населения формируется наряду с пероральной экспозицией, также и ингаляционным поступлением ТГМ при испарении питьевой воды и кожным поступлением, обусловленным способностью ТГМ проникать через неповрежденные кожные покровы во время приема душа, ванной, хозяйственно-бытовой деятельности [4].

Действующая в республике методология гигиенического нормирования и оценки рисков здоровью от химических веществ в питьевой воде основывается лишь на учете перорального пути их поступления в организм. В то же время поступление летучих органических соединений, в том числе, побочных продуктов хлорирования (хлороформа и других тригалометанов) ингаляционно и через кожу при хозяйственно-бытовой деятельности может вносить существенный вклад в суммарную экспозицию и повышать риски здоровью. В странах дальнего и ближнего зарубежья этот аспект учтен при гигиенической регламентации содержания побочных продуктов дезинфекции в питьевой воде. По данным Агентства по охране окружающей среды США (USEPA) и Европейского сообщества (ЕС), максимально допустимое количество ТГМ в питьевой воде составляет 80 и 100 мкг/л соответственно [3, 5], в то время как в нашей стране 200 мг/л.

В этой связи, обоснование применения технологии оценки риска, ассоциированного с содержанием химических веществ в питьевой воде, учитывающей множественность путей поступления летучих химических

веществ в организм из воды на примере побочных продуктов хлорирования, является актуальной задачей для Республики Беларусь.

Исследования проводились в рамках задания 01.01. «Разработать метод гигиенической оценки летучих химических веществ в питьевой воде» (подпрограмма «Безопасность среды обитания человека» ГНТП «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг», 2021–2025 гг.).

В рамках указанной НИР разработан метод оценки рисков здоровью, связанный с воздействием химических веществ в питьевой воде с учетом комплексного поступления, и обоснована необходимость его применения при оценке рисков здоровью для летучих органических веществ в питьевой воде. Проведена апробация указанного метода для оценки рисков, связанных с присутствием в питьевой воде приоритетных тригалометанов.

Апробация метода проведена на основании данных лабораторных исследований за среднесрочный период по содержанию приоритетных ТГМ (хлороформа, 1,2-дихлорэтана, трихлорэтилена, тетрахлорэтилена, бромформа, дибромхлорметана, бромдихлорметана, тетрахлорэтана) в питьевой воде централизованной системы водоснабжения одного из крупных населенных пунктов.

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью пакета Statistica 12.0. Оценка соответствия полученных данных нормальному распределению осуществлялась при помощи критериев W теста Шапиро–Уилка (Shapiro–Wilk W test) и Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллефорса (Kolmogorov–Smirnov & Lilliefors test for normality). Распределение данных считалось отличным от нормального (непараметрическим) при уровне значимости указанных показателей  $p < 0,05$ . Для характеристики уровня загрязнения ТГМ питьевой воды использованы медиана (Me), интерквартильный размах [25%; 75%] и 95-й процентиль (95P). Достоверность различий между осенне-зимним и весенне-летним периодами года определялась при уровне значимости  $p < 0,05$  по U-критерию Манна-Уитни.

Оценка среднесуточного поступления ТГМ выполнена с учетом стандартных факторов экспозиции (скорость поступления воздействующей среды – 2 л/сут; продолжительность воздействия – 70 лет; частота воздействия – 365 дней/год; масса тела – 70 кг; период осреднения экспозиции – 70 лет).

Оценка потенциального канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного загрязнением питьевой воды химическими веществами, обладающими беспороговым (канцерогенным) механизмом воздействия проводилась с учетом перорального, ингаляционного и кожного пути поступления химических веществ в организм человека (таблица 1).

*Таблица 1 – Результаты оценки потенциального канцерогенного риска здоровью населения, обусловленного загрязнением питьевой воды химическими веществами, обладающими беспороговым (канцерогенным) механизмом воздействия*

Вещество	Хлороформ	Бромдихлорметан	Дибромхлорметан	Бромформ	Суммарный риск
CAS	67-66-3	75-27-4	124-48-1	75-25-2	
Потенциальный канцерогенный риск при пероральном пути поступления	1,85E-05	1,43E-06	2,40E-06	2,26E-07	2,26E-05
Потенциальный канцерогенный риск при ингаляционном пути поступления	1,63E-04	4,11E-04	2,15E-04	5,37E-06	7,94E-04
Потенциальный канцерогенный риск при кожном пути поступления	4,52E-06	5,45E-07	1,4E-06	2,1E-07	6,47E-06

По результатам проведенной оценки установлено, что при пероральном пути поступления химических веществ, загрязняющих питьевую воду (хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан, бромформ) суммарный потенциальный канцерогенный риск оценивается как приемлемый (Risk – менее 10<sup>-6</sup>). Приемлемые уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных. Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению и их уровни подлежат только периодическому контролю.

При ингаляционном пути поступления химических веществ, загрязняющих питьевую воду (хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан, бромформ) суммарный потенциальный канцерогенный риск оценивается как «высокий» ( $CR_i = 7,94E-04$ ). При данном уровне риска необходимо осуществление мероприятий по устранению или снижению риска.

При кожном пути поступления химических веществ, загрязняющих питьевую воду (хлороформ, бромдихлорметан, дибромхлорметан, бромформ) суммарный потенциальный канцерогенный риск оценивается как «допустимый» ( $CR_d = 6,47E-06$ ). На данном уровне риска установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом. Уровни допустимого риска подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Таким образом при апробации метода подтверждено предположение о том, что суммарный канцерогенный риск при комплексном поступлении ТГМ из питьевой воды тремя путями существенно выше, чем только при

пероральном поступлении, наибольший вклад вносит ингаляционное поступление летучих органических веществ. Это еще раз свидетельствует о необходимости и целесообразности учета множественности путей поступления летучих химических веществ в организм из питьевой воды при ее гигиеническом нормировании и оценке рисков здоровью.

Применение адаптированных факторов экспозиции позволило бы снизить неопределенности и повысить надежность оценок. С этой целью были проведены пилотные исследования по установлению характерных для условий республики факторов экспозиции, проведено изучение интенсивности водопользования методом анкетирования. Разработанная анкета, включающая в себя ряд разделов, в том числе, информацию о виде используемой воды дома, наличии посудомоечной машины, среднем объеме выпиваемой ежедневно воды, использовании бутилированной и прошедшей через фильтр воды, виде воды выпиваемой на работе, в школе и в учебном заведении, частоте и длительности различных видов хозяйственно-бытового водопользования, и прочее. Анкетирование проводили в семьях с маленькими детьми, как наиболее уязвимой группы, отобранных случайным методом, в различных районах г. Минска (водоснабжаемых из поверхностных источников и подземных) с целью учета поведенческих различий в зависимости от использования воды, содержащей побочные продукты реагентной дезинфекции. В анкетировании приняло участие 365 семей. Всего проанкетированы 1003 респондента с различной половозрастной структурой, из них 552 составили женщины, 451 – мужчины, в том числе 703 – взрослые, 84 – дети в возрасте от 0 до 6 лет, 216 – дети в возрасте от 6 до 18 лет. Среди опрошиваемых преобладали семьи, проживающие в многоквартирных домах и воспитывающие 1–2 детей. 54,0 % опрошенного населения не устраивает качество подаваемой питьевой воды, основными причинами неудовлетворительного качества питьевой воды являются запах, вкус, жесткость, образование накипи. Наибольшая часть респондентов пьет воду, очищенную после фильтра, для приготовления, пищи, для ванной и душа использует водопроводную воду без очистки. Результаты оценки типов воды, используемых дома, показали, что наибольшая часть респондентов пьет воду доочищенную после фильтра (44,4 %), для приготовления пищи и душа использует водопроводную воду без очистки (46,3 % и 96,7 % соответственно). Количество воды, выпиваемой всеми респондентами в целом в сутки (в среднем) составило  $1,3 \pm 0,7$  л, взрослыми –  $1,4 \pm 0,7$  л, детьми в возрасте 6–18 лет –  $1,2 \pm 0,7$  л, детьми в возрасте 0–6 лет –  $0,88 \pm 0,5$  л. Среди опрошенных 25,8 % используют бутилированную воду для питья, 11,8 % – для приготовления напитков, 7,1 % – для приготовления пищи. 29,6 % респондентов употребляют воду, расфасованную в емкости, для всей семьи, 1,7 % – только для детей. При выборе бутилированной воды потребители наибольшее значение уделяют наименованию производителя, ее происхождению, а также типу и виду. В среднем население в неделю использует 15,2 л бутилированной воды. Наибольшая часть анкетированных принимает душ 1 раз в день (70,6 %) до 15 минут, в том числе 71,8 % мужчин, 67,2 % женщин, 68,3 % взрослых, 73,6 % детей в возрасте от 6 до 18 лет, 65,5 % детей в возрасте от 0 до 6 лет. Большинство респондентов принимают ванную 1 раз в неделю (37,0 %) до 30 минут, в том числе 33,5 % мужчин, 38,2 % женщин, 47,7 % детей в возрасте от 6 до 18 лет, 34,5 % детей в возрасте от 0 до 6 лет, 33,4 % взрослых ванную не принимают.

Полученные данные могут быть использованы на этапах оценки экспозиции с учетом региональных аспектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Formation and toxicity of brominated disinfection byproducts during chlorination and chloramination of water: a review / V. K. Sharma [et al.] // *J. Environ Sci Health B*. – 2014. – Vol. 49(3). – P. 212-228.
2. Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union / I. Evlampidou [et al.] // *Environmental Health Perspectives*. – 2020. – Vol. 128, № 1. – P. 1-14.
3. EPA Drinking Water Guidance on Disinfection By-Products. Advice Note No. 4. Version 2 [Electronic resource]. – Mode of access : [http://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/DrinkingWaterGuide4\\_v8.pdf](http://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/DrinkingWaterGuide4_v8.pdf). – Date of access: 15.03.2018.
4. Trihalomethanes in urban drinking water: measuring exposures and assessing carcinogenic risk / H. Sadeghi [et al.] // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 17. – P. 619–632.
5. EPA/600/R-06/087 Exposures and internal doses of trihalomethanes in humans: multi-route contributions from drinking water [Electronic resource]. – Mode of access : <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/.pdf>. – Date of access: 15.01.2018.