

© Уланова Т.С., Нурисламова Т.В., Мальцева О.А., Попова Н.А., 2020

УДК 614.78

Установление ассоциации уровней хлороформа в крови детского населения с концентрациями хлороформа и его производных в питьевой воде систем централизованного водоснабжения

Т.С. Уланова, Т.В. Нурисламова, О.А. Мальцева, Н.А. Попова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

Резюме: *Введение.* Одним из приоритетных источников питьевой воды в Российской Федерации в настоящее время продолжают оставаться поверхностные водоемы, а возрастающие масштабы техногенного воздействия на окружающую среду не исключают возможности их загрязнения токсичными соединениями. Использование традиционных методов обеззараживания воды активным хлором еще более усугубляет ситуацию и приводит к образованию высокотоксичных тригалометанов. В этой связи одной из актуальных проблем гигиены является установление влияния этих токсикантов на состояние здоровья населения, включая его наиболее чувствительные группы. *Цель исследования* – установить и количественно оценить связь между содержанием хлороформа, его производных в питьевой воде и уровнем содержания хлорорганических соединений в крови детей, потребляющих питьевую воду с повышенным содержанием хлора и его производных. *Материалы и методы.* Исследования выполнены на 6 территориях Пермского края – территории наблюдения, на которой использовалась питьевая вода, не соответствующая гигиеническим нормативам по ряду показателей, и территории сравнения. Оценка содержания тригалометанов в пробах питьевой воды выполнена в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.4.1074–01. Для определения тригалометанов (хлороформ, тетрахлорметан, дибромхлорметан, дихлорбромметан, 1,2-дихлорэтан) в биологических средах (кровь) использовали метод капиллярной газовой хроматографии в сочетании со специфическим детектирующим устройством для увеличения селективности и чувствительности определения. Исследования выполнены на газовом хроматографе «Кристалл–5000» с капиллярной колонкой Optima-5 (25 м × 0,32 мм × 0,5 мкл) и селективным детектором электронного захвата (ДЭЗ). *Результаты.* Представлены данные комплексных химико-аналитических исследований по определению средних концентраций тригалометанов в пробах крови групп детей, потребляющих питьевую воду с повышенным содержанием определяемых соединений (превышение гигиенического норматива по хлороформу соответствовало 3,5 ПДК), и воду, соответствующую гигиеническим нормативам. Установлены достоверные различия ($p < 0,005$) по содержанию в образцах крови группы наблюдения хлороформа в 5,6 раза, четыреххлористого углерода – в 6 раз, 1,2-дихлорэтана – в 24 раза относительно образцов крови детей группы сравнения. *Заключение.* Выявлена достоверная причинно-следственная связь возрастания хлороформа в крови детей при увеличении концентрации хлороформа в питьевой воде, которая описывается уравнением $y = 0,00188 + 0,01782x$ ($R^2 = 0,263$ при $p = 0,0018$).

Ключевые слова: хлорорганические соединения, ДЭЗ, капиллярная газовая хроматография, анализ равновесной паровой фазы, причинно-следственные связи, Пермская область.

Для цитирования: Уланова Т.С., Нурисламова Т.В., Мальцева О.А., Попова Н.А. Установление ассоциации уровней хлороформа в крови детского населения с концентрациями хлороформа и его производных в питьевой воде систем централизованного водоснабжения // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 8 (329). С. X–X DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-329-8-X-X>

Establishing the Association between Blood Levels of Chloroform in Children and Concentrations of Chloroform and Its Derivatives in Drinking Water of Centralized Water Supply Systems

T.S. Ulanova, T.V. Nurislamova, O.A. Maltseva, N.A. Popova

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

Abstract. *Background:* Surface reservoirs remain one of the priority sources of drinking water in the Russian Federation whereas the increasing anthropogenic effect on the environment does not exclude the possibility of contamination of surface waters with toxic compounds. The use of traditional methods of water disinfection with active chlorine aggravates the situation and leads to formation of highly toxic organochlorine compounds. In this regard, one of the urgent hygienic problems is to establish health effect of these toxicants in the population including its most sensitive groups. *The objective* of the study was to establish and quantify the relationship between concentrations of chloroform and its derivatives in drinking water and blood levels of organochlorine compounds in children consuming potable water with a higher content of chlorine and its derivatives. *Materials and methods:* The study was conducted on six territories of the Perm Region constituting an observation area where drinking water was noncompliant with hygienic standards by a number of indices, and a comparison area. The analysis of trihalomethanes in drinking water samples was carried out in accordance with the requirements of sanitary regulations SanPiN 2.1.4.1074–01. The levels of trihalomethanes (chloroform, carbon tetrachloride, dibromochloromethane, dichlorobromomethane, and 1,2-dichloroethane) in children's blood samples were analyzed by capillary gas chromatography in combination with a specific detector to increase selectivity and sensitivity of determination. We used a Kristall-5000 gas chromatograph with an Optima-5 capillary column (25 m × 0.32 mm × 0.5 μL) and a selective electron capture detector (ECD). *Results:* The data of comprehensive chemical analyses of average levels of trihalomethanes in blood samples of children consuming drinking water with an increased content of determined compounds (up to 3.5 MPC) and the water complying with hygienic standards are presented. We observed significant differences ($p < 0.005$) between two groups in the blood levels of chloroform, carbon tetrachloride, and 1,2-dichloroethane that were 5.6, 6 and 24 times higher in children of the test group compared to the controls. *Conclusion:* We revealed a statistically significant causal relationship between the increase in chloroform concentrations in drinking water and the increase in blood levels of chloroform in children described by the equation $y = 0.00188 + 0.01782x$ ($R^2 = 0.263$, $p = 0.0018$).

Key words: organochlorine compounds, electron capture detector, capillary gas chromatography, vapor phase analysis, causal relationship, Perm Region.

For citation: Ulanova TS, Nurislamova TV, Maltseva OA, Popova NA. Establishing the association between blood levels of chloroform in children and concentrations of chloroform and its derivatives in drinking water of centralized water supply systems. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; (8(329)):X–X. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-329-8-X-X>

Author information: Ulanova T.S., <https://orcid.org/0000-0002-9238-5598>; Nurislamova T.V., <https://orcid.org/0000-0002-2344-3037>; Maltseva O.A., <https://orcid.org/0000-0001-7664-3270>; Popova N.A., <https://orcid.org/0000-0002-9730-9092>

Введение. Одним из приоритетных источников питьевой воды в Российской Федерации в настоящее время продолжают оставаться поверхностные водоемы. Возрастающие масштабы техногенного воздействия на окружающую среду не исключают возможности загрязнения поверхностных водоемов токсичными соединениями, а использование традиционных методов обеззараживания воды активным хлором еще более усугубляет ситуацию и приводит к образованию высокотоксичных хлорорганических соединений.

По уровню химической нагрузки питьевой воды Пермский край относится к территориям риска. Основными источниками централизованного водоснабжения городов Пермского края являются реки Кама и Чусовая, которые обеспечивают водой для питьевых целей население порядка 1,6 млн человек¹. Наиболее распространенными загрязнителями техногенного происхождения водоисточников хозяйственно-питьевого водоснабжения являются нефтепродукты, фенолы, соединения тяжелых металлов и элементов, поверхностно-активные вещества, нитраты и др. [1–3].

Согласно Федеральному закону «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»², питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Из-за употребления токсичной воды у населения развиваются респираторные заболевания (ринит, бронхит), заболевания желудочно-кишечного тракта (гастрит, дуоденит), аллергические проявления (экзема, нейродермит), инфекционные заболевания (брюшной тиф, дизентерия и др.) [4–9].

По степени опасности для здоровья человека среди химических загрязнителей, присутствующих в питьевой воде, приоритет принадлежит тригалометанам, которые являются канцерогенами и обладают гонадотоксическими, эмбриотоксическими, аллергенными свойствами [10]. Исключение негативного воздействия на здоровье человека тригалометанов питьевой воды является одной из наиболее актуальных проблем в водном хозяйстве России.

При гигиенической оценке качества воды, используемой для питьевых целей, следует обращать внимание на продукты трансформации химических соединений, образующихся в процессе обеззараживания методом хлорирования. Это, как правило, более сложные и токсичные хлорорганические соединения [11–14]. На стадии обеззараживания из более 100 образующихся хлорорганических соединений основными и наиболее опасными являются летучие хлорорганические соединения, в их числе тригалометаны. Для оценки содержания

химических соединений в питьевой воде в Российской Федерации используются современные высокочувствительные и специфические методы анализа, основанные на газовой и жидкостной хроматографии, масс-спектрометрии в сочетании с газовой (ГХ/МС) и жидкостной хроматографией (ВЭЖХ/МС), позволяющие идентифицировать широкий спектр органических соединений, затем определять их количественно целевым анализом^{3,4} [15].

Одним из подходов для оценки степени неблагоприятного воздействия химических факторов питьевой воды и диагностики изменений состояния здоровья является определение химических соединений в биологических средах населения⁵ [16]. Проведение биомониторинговых исследований рекомендовано экспертами Всемирной Организации Здравоохранения по критериям качества окружающей среды в связи с воздействием на организм человека токсичных соединений для выявления риска здоровью при малых уровнях воздействия контаминантов [17, 18].

В этой связи для доказательства неблагоприятного воздействия химических факторов питьевой воды, не соответствующей гигиеническим нормативам, проведены комплексные исследования по оценке качества воды, используемой для питьевых целей, и определением контаминантов в биологических средах детского населения.

Одной из актуальных проблем гигиены является установление связей между воздействием факторов окружающей среды и состоянием здоровья населения, включая его наиболее чувствительные группы [19–22].

Цель исследования — установить и количественно оценить связь между содержанием хлороформа, его производных в питьевой воде и уровнем содержания хлорорганических соединений в крови детей, потребляющих питьевую воду с повышенным содержанием хлора и его производных.

Материалы и методы. Исследования проведены на 6 территориях Пермского края: территория наблюдения, на которой использовалась питьевая вода, не соответствующая гигиеническим нормативам по ряду показателей, и для сравнения выбрана территория с качеством воды, соответствующим гигиеническим нормативам, и на аналогичные показатели выполнены исследования биологических сред детского населения, потребляющего качественную воду ($n = 1050$). Отбор проб питьевой воды, производимой и подаваемой централизованными системами питьевого водоснабжения и предназначенной для потребления в питьевых и бытовых целях, выполнен в соответствии с ГОСТ 31861–2012⁶. Исследования проб питьевой воды на содержание хлорорганических соединений

¹ Сборник «Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2012 году». Управление по охране окружающей среды Министерства градостроительства и развития инфраструктуры Пермского края, Краевое государственное учреждение «Аналитический центр». Пермь, 2013.

² Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изменениями и дополнениями).

³ ГОСТ Р 51392–99. Вода питьевая. Определение содержания летучих галогенорганических соединений газожидкостной хроматографией. Госстандарт России. М., 1999.

⁴ 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». (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача 26.09.01 № 24).

⁵ Конюхов В.Ю. Хроматография. Санкт-Петербург: Лань, 2016. 222 с.

(хлороформ, тетрахлорметан, дибромхлорметан, дихлорбромметан, 1,2-дихлорэтан) выполнены в соответствии с ГОСТ 31951–2012⁷ методом газожидкостной хроматографии и анализом равновесной паровой фазы. Оценка содержания хлорорганических соединений в пробах питьевой воды выполнена в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074–01⁸.

Для задач оценки экспозиции и доказательств наличия или отсутствия вреда здоровью от воздействия загрязнения питьевой воды хлорорганическими соединениями (хлороформ, 1,2-дихлорметан, тетрахлорметан, дихлорбромметан, дибромхлорметан) выполнены исследования проб биологических сред (кровь) МУК 4.1.2112–06⁹.

Исследования биологических проб (кровь) детского населения и проб питьевой воды на содержание хлорорганических соединений (хлороформ, тетрахлорметан, дибромхлорметан, дихлорбромметан, 1,2-дихлорэтан) проведены на газовом хроматографе «Кристалл-5000» с капиллярной колонкой Optima-5 (25 м × 0,32 мм × 0,5 мкл) в сочетании со специфическим детектирующим устройством (ДЭЗ).

Для установления реализации опасностей вредного воздействия загрязнения питьевой воды хлорорганическими соединениями выполнены исследования по установлению причинно-следственных связей в системе «доза вещества при поступлении с питьевой водой – концентрация вещества в крови», которые позволили определить закономерности, характеризующие негативное воздействие хлорорганических соединений на организм детей, потребляющих питьевую воду, не соответствующую гигиеническим нормативам.

Для оценки достоверности различий полученных результатов использовали t-критерий Стьюдента (сравнение показателей исследуемых выборок по абсолютным значениям признака) и Z-тест Фишера (сравнение показателей исследуемых выборок по долям признака). Различия являлись статистически значимыми при $p \leq 0,05$ ¹⁰ и нормальном распределении совокупности дисперсий. Для проверки нор-

мальности количественных данных использовали критерий согласия (χ^2) Пирсона, который позволил подтвердить гипотезу о нормальном законе распределения для всех количественных показателей [23].

Установление причинно-следственных зависимостей проведено с использованием программно-математических приемов обработки данных о содержании нитратов в питьевой воде, нитратов в моче и N-нитрозодиметиламина в крови. Адекватность полученных математических моделей, описывающих анализируемые зависимости, оценивали по критерию Фишера ($F > 3,86$)¹¹ и коэффициенту детерминации.

Анализ результатов исследований и оценку параметров моделей выполняли с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 и специальных программных продуктов, сопряженных с приложениями MS-Office.

Результаты. Результаты исследования питьевой воды обследованных территорий представлены в таблице 1.

Хроматограмма хлорорганических соединений, обнаруженных в питьевой воде хозяйственно-питьевого водоснабжения территории наблюдения, представлена на рис. 1.

Для доказательства неблагоприятного воздействия химических факторов питьевой воды исследованы биосреды (кровь) детского населения, постоянно проживающего и употребляющего воду для питьевых целей на территориях наблюдения и сравнения [24].

Хроматограммы пробы крови детей групп наблюдения и сравнения представлены на рис. 2.

Обсуждение. Анализ и сравнение полученных результатов (табл. 1) позволили установить в питьевой воде на территории наблюдения превышение содержания хлороформа в 42 раза и дихлорбромметана в 26 раз относительно территории сравнения. По другим показателям – дибромхлорметан, тетрахлорметан и 1,2-дихлорэтан концентрации зарегистрированы ниже предела обнаружения. В период проведения исследований на территории наблюдения превышение гигиенического норматива по

Таблица 1. Результаты химического анализа питьевой воды детских образовательных учреждений территорий сравнения и наблюдения Пермского края (концентрация, мг/дм³) (n = 20)

Table 1. Results of the chemical analysis of potable water samples (n = 20) taken in children's educational establishments in the comparison and observation areas of the Perm Region (concentration, mg/dm³)

№	Токсиканты / Toxicants	ПДК, мг/дм ³ / MPC, mg/dm ³	Территория наблюдения / Observation area	Территория сравнения / Comparison area
1.	Хлороформ / Chloroform	0,2	0,30 ± 0,010	0,007 ± 0,0003
2.	ТХМ/ СТС	0,006	< 0,0006	< 0,0006
3.	ДБХМ/ DBCM	0,03	<0,001	< 0,001
4.	ДХБМ/ DCBM	0,03	0,021	< 0,0008
5.	1,2-ДХЭ/1,2-DCE	0,03	< 0,005	< 0,0050

Примечание: Нижний предел определения: хлороформ – 0,0006 мг/дм³, тетрахлорметан – 0,0006 мг/дм³, дихлорэтан – 0,005 мг/дм³, дибромхлорметан – 0,001 мг/дм³, дихлорбромметан – 0,0008 мг/дм³.

Notes: The lower limit of determination: chloroform – 0.0006 mg/dm³, carbon tetrachloride – 0.0006 mg/dm³, dichloroethane – 0.005 mg/dm³, dibromochloromethane – 0.001 mg/dm³, dichlorobromomethane – 0.0008 mg/dm³

⁶ ГОСТ 31861–2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».

⁷ ГОСТ 31951–2012 «Вода питьевая. Определение содержания летучих галогенорганических соединений газожидкостной хроматографией».

⁸ 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» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача 26.09.01 № 24).

⁹ МУК 4.1.2112–06 «Определение массовой концентрации хлороформа, 1,2-дихлорэтана, тетрахлорметана, хлорбензола в биосредах (кровь) газохроматографическим методом».

¹⁰ Карпищенко А.И. Медицинские лабораторные технологии. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 696 с.

¹¹ Кувайскова Ю.Е. Статистические методы прогнозирования: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2019. 197 с.

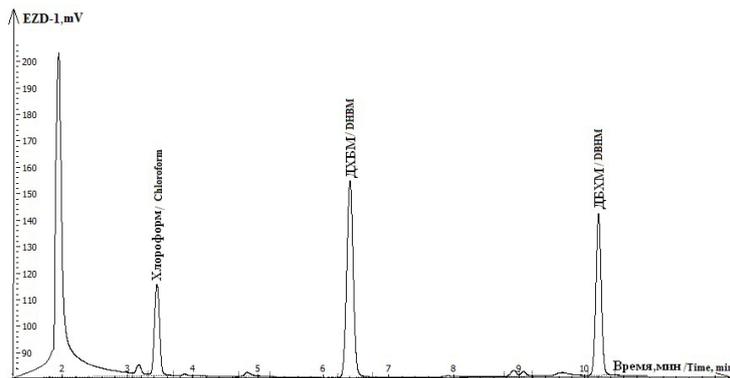


Рис. 1. Хроматограмма хлорорганических соединений, обнаруженных в питьевой воде территории наблюдения:
Схлороформа = 0,001 мг/дм³

Fig. 1. Chromatogram of organochlorine compounds found in drinking water of the observation area:
Cchloroform = 0.001 mg/dm³

Таблица 2. Результаты химического анализа биологических сред (n = 600) территорий наблюдения и сравнения Пермского края

Table 2. Results of the chemical analysis of blood samples (n = 600) taken in the observation and comparison areas of the Perm Region

Токсиканты / Toxicants	Территория наблюдения / Observation area	Территория сравнения / Comparison area
	p < 0,005	
Хлороформ / Chloroform	0,007819 ± 0,00134	0,0014 ± 0,00036
Четыреххлористый углерод / Carbon tetrachloride	0,00122 ± 0,0002	0,0002 ± 0,00005
1,2-дихлорэтан / 1,2-dichloroethane	0,009966 ± 0,002	0,0004 ± 0,00004

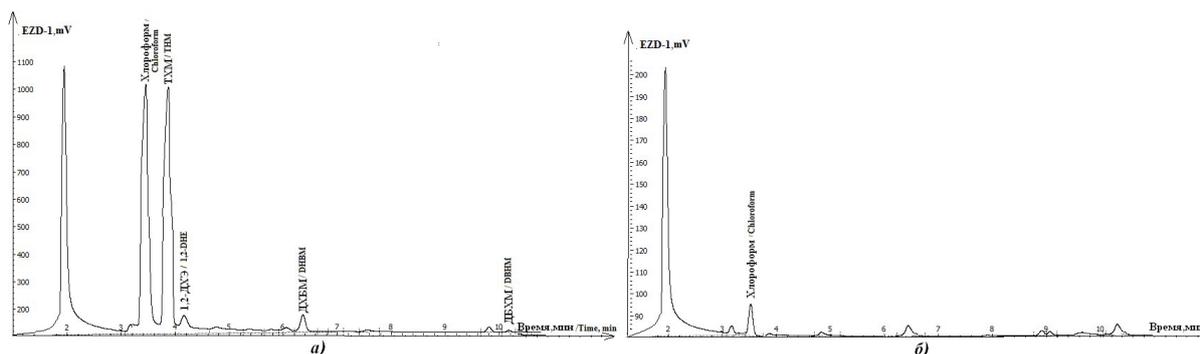


Рис. 2. Хроматограмма пробы крови детей группы наблюдения (а): Схлороформа = 0,12 мг/дм³, Стетрахлорметана = 0,017 мг/дм³, С1,2-дихлорэтана = 0,028 мг/дм³, Сдихлорбромметана = 0,0004 мг/дм³, Сдибромхлорметана = 0,0001 мг/дм³; Группы сравнения (б): Схлороформа = 0,0002 мг/дм³, Стетрахлорметана = не обнаружено, С1,2-дихлорэтана = не обнаружено, Сдихлорбромметана = не обнаружено, Сдибромхлорметана = не обнаружено.

Fig. 2. Chromatogram of a blood sample from children of the observation group (a): Cchloroform = 0.12 mg/dm³, Ccarbon tetrachloride = 0.017 mg/dm³, C1,2-dichloroethane = 0.028 mg/dm³, Cdichlorobromomethane = 0.0004 mg/dm³, Cдibromochloromethane = 0.0001 mg/dm³; comparison group (b): Cchloroform = 0.0002 mg/dm³, Ccarbon tetrachloride = not detected, C1,2-dichloroethane = not detected, Cdichlorobromomethane = not detected, Cдibromochloromethane = not detected

хлороформу в питьевой воде составило 1,5 ПДК, содержание хлорорганических соединений в пробах питьевой воды территории сравнения не превышало гигиенических нормативов.

Содержание определяемых хлорорганических соединений в крови детского населения группы наблюдения (табл. 2) установлено в диапазоне концентраций 0,0002–0,05 мг/дм³ при погрешности определения 20,7 %. В процессе выполненных исследований установлено достоверное межгрупповое различие по содержанию хлороформа в 5,6 раза, четыреххлористого углерода – в 6 раз, 1,2-дихлорэтана – в 24 раза. В группе наблюдения частота регистрации проб с повышенным содержанием хлороформа относительно группы сравнения составила 87,6 % от общего числа исследованных проб.

С использованием полученных результатов выполнено математическое моделирование,

которое отражает зависимость увеличения концентрации хлороформа в крови от увеличения дозы при экспозиции из питьевой воды. В качестве параметров для модели использовали дозы хлороформа в питьевой воде, рассчитанные в соответствии с Р 2.1.10.1920–04¹², и уровни содержания хлороформа в крови детей, проживающих на территории наблюдения [25].

В ходе исследований построена модель, описывающая достоверную зависимость «концентрация хлороформа питьевой воды – концентрация хлороформа в крови» (табл. 3, рис. 3). Для детского населения, потребляющего питьевую воду, качество которой соответствует требованиям санитарно-гигиенического законодательства, таких зависимостей не установлено.

Установленная разница содержания хлороформа в крови детей, проживающих на территориях с повышенным содержанием

¹ 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.

Таблица 3. Параметры моделей зависимости «концентрация хлороформа питьевой воды – концентрация хлороформа в крови»

Table 3. Parameters of models of the relationship between chloroform concentration in drinking water and blood levels of chloroform

Модель / Model	Параметры Модели / Model parameters		Критерий Фишера (F) / Fisher's criterion	Достоверность модели (p) / Model significance (p)	Коэффициент детерминации (R ²) / Determination coefficient (R ²)
	b0	b1			
Концентрация хлороформа питьевой воды – концентрация хлороформа в крови / Chloroform concentration in drinking water – blood level of chloroform	0,00188	0,0178	0,00188	0,035	0,2631

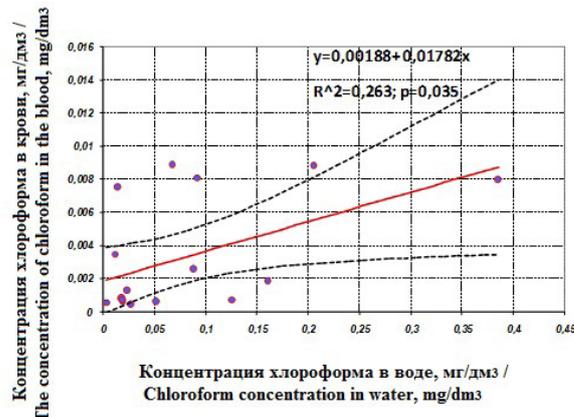


Рис. 3. Линейная зависимость «концентрация хлороформа в питьевой воде – концентрация хлороформа в крови»

Fig. 3. A linear relationship between chloroform concentrations in drinking water and blood levels of chloroform

хлороформа в питьевой воде в диапазоне концентраций 0,01–0,35 мг/дм³, показала наличие параметризованных связей.

В странах Европы для минимизации вредных эффектов от применения хлора и для решения проблемы образования побочных продуктов при хлорировании воды используют комбинированный метод. Для уменьшения количества хлора, который принимает участие в процедуре дезинфекции воды, вместе с хлорированием применяют озонирование и обработку УФ-лампой [26]. Эффективность такого метода борьбы с образованием хлороорганических соединений доказывают многочисленные исследования [27, 28].

В РФ хлорирование питьевой воды является наиболее распространенным и надежным методом обеззараживания питьевой воды. Однако такой способ приводит к образованию продуктов хлорирования, большая часть которых приходится на тригалометаны [29].

Заключение. Анализ результатов практических исследований позволил определить значимую линейную зависимость «концентрация хлороформа питьевой воды – концентрация хлороформа в крови». В процессе моделирования достоверно установлена причинно-следственная связь между средней концентрацией хлороформа в питьевой воде и содержанием хлороформа в крови детей группы наблюдения, описываемая уравнением вида $y = 0,00188 + 0,01782x$ при установленном коэффициенте детерминации (R²) 0,26. Доля результативного показателя (концентрация хлороформа в крови), которая связана с факторным показателем (концентрация хлороформа питьевой воды) на территории наблюдения составила 26 %, что объясняет источник появления хлороорганических соединений в крови экспонированного населения.

Полученные результаты исследований могут быть использованы для последующей оценки риска здоровью детей, проживающих на тер-

риториях с повышенным содержанием хлора и его производных в питьевой воде.

Информация о вкладе авторов: Уланова Т.С. – концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного результата статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Нурисламова Т.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста; Мальцева О.А. – сбор и обработка материала, статистическая обработка; Попова Н.А. – сбор и обработка материала, статистическая обработка, редактирование.

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы (пп. 9–10, 13–14, 18–19, 26–28 см. References)

1. Землянова М.А., Пустовалова О.В., Мазунина Д.Л. и др. Биохимические маркерные показатели негативных эффектов у детей при воздействии хлороорганических соединений с питьевой водой // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 1. С. 97–101.
2. Зайцева Н.В., Устинова О.Ю., Землянова М.А. Медико-профилактические технологии управления риском нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов среды обитания // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 2. С. 109–113.
3. Рахманин Ю.А., Загайнова А.В., Артемова Т.З. и др. Определение унифицированных доз эффективного ультрафиолетового обеззараживания возбудителей бактериальных, вирусных и паразитарных инфекций в воде бассейна // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2019. № 1. С. 31–41.
4. Кузьмина Е.А., Кузнецов Е.О., Кузнецов В.Н. и др. Оценка канцерогенного риска здоровья, связанного с качеством питьевой воды, на примере крупного промышленного центра // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2015. № 2 (53). С. 62–64.
5. Рахманин Ю.А., Мельцер А.В., Киселев А.В. и др. Гигиеническое обоснование управленческих решений с использованием интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности и эпидемиологической безопасности // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 4. С. 302–305.
6. Якубова И.Ш., Мельцер А.В., Ерастова Н.В. и др. Гигиеническая оценка обеспечения населения Санкт-Петербурга безопасной, безвредной и физиологически полноценной питьевой водой // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 4. С. 21–25.
7. Момот Т.В., Кушнерова Н.Ф., Рахманин Ю.А. Профилактика нарушения биохимических показателей в крови крыс при экспериментальном стрессе // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 7. С. 678–681.
8. Рахманин Ю.А., Иванова Л.В., Артемова Т.З. и др. Значение санитарно-микробиологических показателей при оценке эпидемической безопасности водопользования в условиях

химического загрязнения водоемов // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 10. С. 934–938.

11. Мальшева А.Г., Рахманин Ю.А., Растянный Е.Г. и др. Химико-аналитические аспекты исследования комплексного действия факторов окружающей среды на здоровье населения // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 7. С. 5–10.
12. Бакиров А.Б., Мышкин В.А., Репина Э.Ф. и др. Преодоление гепатотоксичности стойких органических загрязнителей: роль антиоксидантов пиримидиновой структуры // Гигиена труда и медицинская экология. 2016. № 3 (52). С. 3–18.
15. Рыбасова А.С., Ремезова И.П., Любченко Д.А. и др. Разработка методики изолирования, обнаружения и количественного определения аллимазина в биологических жидкостях лабораторных животных при острых отравлениях // Судебно-медицинская экспертиза. 2019. Т. 62. № 1. С. 31–35.
16. Яшин Я.И., Яшин А.Я. Распространение хроматографии по странам мира в двадцатом веке // Сорбиционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16 № 5. С. 734–740.
17. Иксанова Т.И., Стехин А.А., Яковлева Г.В. и др. Продолжительность жизни гидробионтов *Daphnia magna* в неконтактно-активированной воде // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 1. С. 41–45.
20. Землянова М.А., Пескова Е.В. Оценка нарушений биохимических показателей функций ЦНС и печени у детей, потребляющих воду с повышенным содержанием хлороорганических соединений // Вестник Пермского Университета. Серия: Биология. 2015. № 3. С. 259–263.
21. Лужецкий К.П., Маклакова О.А., Палагина Л.Н. Нарушения жирового и углеводного обмена у детей, потребляющих питьевую воду ненормативного качества // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 1. С. 66–70.
22. Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В. и др. Опыт установления и доказывания вреда здоровью населения вследствие потребления питьевой воды, содержащей продукты гиперхлорирования // Здоровое население и среда обитания. 2015. № 12 (273). С. 16–18.
23. Гржибовский А.М., Иванов С.В., Горбатова М.А. Описательная статистика с использованием пакетов статистических программ Statistica и SPSS // Наука и здравоохранение. 2016. № 1. С. 7–23.
24. Лужецкий К.П., Шур П.З., Устинова О.Ю. и др. Оценка индивидуального риска метаболических нарушений у детей при экспозиции хлороформом с питьевой водой // Анализ риска здоровью. 2015. № 4. С. 28–35.
25. Четверкина К.В. К установлению реперного уровня содержания хлороформа в крови детского населения // Анализ риска здоровью. 2018. № 3. С. 85–93. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.3.09>
29. Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Орлов А.А. и др. Оценка риска здоровью населения, связанного с качеством питьевой воды // Здоровье населения и среда обитания. 2016. № 9 (282). С. 17–19.

References

1. Zemlyanova MA, Pustovalova OV, Mazunina DL, et al. Biochemical marker indices of negative impacts in children under the exposure to the chlororganic compounds with drinking water. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95(1):97-101. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-97-101>
2. Zaytseva NV, Ustinova OYu, Zemlyanova MA. Medical and preventive technologies of the management of the risk of health disorders associated with exposure to adverse environmental factors. *Gigiena i Sanitariya*. 2015; 94(2):109-113. (In Russian)
3. Rakhmanin YuA, Zagainova AV, Artemova TZ, et al. Determination of unified doses of effective ultraviolet disinfection of pathogens of bacterial, viral and parasitic infections in the pool water. *Meditsinskaya Parazitologiya i Parazitarnye Bolezni*. 2019; (1):31-41. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.33092/0025-8326mp2019.1.31-41>
4. Kuzmina YeA, Kuznetsov YeO, Kuznetsov VN, et al. Assessment of the carcinogenic risk to health associated with the drinking water quality in the context of large industrial center. *Vestnik Ural'skoi Meditsinskoi Akademicheskoi Nauki*. 2015; (2(53)):62-64. (In Russian).
5. Rakhmanin YuA, Meltser AV, Kiselev AV, et al. Hygienic substantiation of management decisions with the use of the integral assessment of drinking water on indices of chemical harmlessness and epidemiological safety. *Gigiena i Sanitariya*. 2017; 96(4):302-305. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305>
6. Yakubova ISh, Meltser AV, Erastova NV, et al. Hygienic evaluation of the delivery of physiologically wholesome drinking water to the population of St. Petersburg. *Gigiena i Sanitariya*. 2015; 94(4):21-25. (In Russian).
7. Momot TV, Kushnerova NF, Rakhmanin YuA. Prevention of deteriorations of blood biochemical indices in experimental stress in rats. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95(7):678-681. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-7-678-681>
8. Rakhmanin YuA, Ivanova LV, Artemova TZ, et al. The importance of sanitary microbiological indices in the evaluation of epidemiological safety of water use in conditions of chemical contamination of water. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95(10):934-938. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-934-938>
9. Abbas S, Hashmi I, Rehman MSU, et al. Monitoring of chlorination disinfection by-products and their associated health risks in drinking

water of Pakistan. *J Water Health*. 2015; 13(1):270-284. DOI: <https://doi.org/10.2166/wh.2014.096>

10. Ahmed F, Khan TA, Fakhruddin ANM, et al. Estimation and exposure concentration of trihalomethanes (THMs) and its human carcinogenic risk in supplied pipeline water of Dhaka City, Bangladesh. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019; 26(16):16316–16330. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05049-6>
11. Malysheva AG, Rakhmanin YuA, Rastyannikov EG, et al. Chemical-analytical aspects of the complex impact of the environmental factors on the population's health. *Gigiena i Sanitariya*. 2015; 94(7):5-10. (In Russian).
12. Bakirov AB, Myshkin VA, Repin EF, et al. Overcome the hepatotoxicity of persistent organic pollutants: the role of antioxidants pyrimidine structure. *Gigiena Truda i Meditsinskaya Ekologiya*. 2016; (3(52)):3-18. (In Russian).
13. Ebrahim SJ, Bidarpoor F, Esлами A, et al. Removal of trihalomethanes from drinking water via heating method. *Biomed Pharmacol J*. 2016; 9(1):61-66. DOI: <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/909>
14. Babaei A, Alawi N, Hassani G, et al. Occurrence and related risk assessment of trihalomethanes in drinking water, Ahvaz, Iran. *Fresenius Environ Bull*. 2015; 24(12c):4807-4815.
15. Rybasova AS, Remezova IP, Lyubchenko DA, et al. The development of the methods for the extraction, identification, and quantitative determination of alimemazine in the biological fluids from the laboratory animals under the acute poisoning conditions. *Sudebno-Meditsinskaya Ekspertiza*. 2019; 62(1):31-35. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.17116/sudmed20196201131>
16. Yashin YaI, Yashin AYa. Chromatography spreading on the world countries in the twentieth century. *Sorbtsionnye i Khromatograficheskie Protsestry*. 2016; 16(5):734-740. (In Russian).
17. Iksanova TI, Stekhin AA, Yakovleva GV, et al. Lifetime of hydrobionts *Daphnia magna* in a noncontact - activated water. *Gigiena i Sanitariya*. 2015; 94(1):41-45. (In Russian).
18. Ewaid SH, Rabee AM, Al-Naseri SK. Carcinogenic risk assessment of trihalomethanes in major drinking water sources of Baghdad City. *Water Resources*. 2018; 45:803-812.
19. Pasha MFK, Lansey K. Effect of data collection on the estimation of wall reaction coefficients for water distribution models. *J Water Res Plan Man*. 2012; 138(6):614-623. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000207](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000207)
20. Zemlyanova MA, Peskova EV. Assessment of violations of biochemical indicators of central nervous system and liver functions in children consuming water with high content of organochlorine compounds. *Vestnik Permskogo Universiteta. Seriya: Biologiya*, 2015; (3):259-263. (In Russian).
21. Luzhetskiy KP, Maklakova OA, Palagina LN. Disorders of lipid and carbohydrate metabolism in children consuming drinking water of a non-normative quality. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95(1):66-70. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-1-66-70>
22. Zaitseva NV, May IV, Klein SV, et al. 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; (12(273)):16-18.
23. Grjibovskiy AM, Ivanov SV, Gorbatova MA. Descriptive statistics using Statistica and SPSS software. *Nauka i Zdravookhranenie*. 2016; (1):7-23. (In Russian).
24. Luzhetskiy KP, Shur PZ, Ustinova OYu, et al. Individual risk assessment of metabolic disorders in children at exposure to chloroform in drinking water. *Health Risk Analysis*. 2015; (4):28-35. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2015.4.04>
25. Четверкина К.В. On determination of reference chloroform content in children's blood. *Health Risk Analysis*. 2018; (3):85-93. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.3.09>
26. Treacy J. Drinking water treatment and challenges in developing countries. *The relevance of hygiene to health in developing countries*. Potgieter N, editor. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.80780>
27. Valdivia-Garcia M, Weir P, Frogbrook Z, et al. Climatic, geographic and operational determinants of trihalomethanes (THMs) in drinking water systems. *Scientific Reports*. 2016; 6: 318-323.
28. Boucherit A, Moulay S, Ghernaout D, et al. New trends in disinfection by-products formation upon water treatment. *Journal of Research & Developments in Chemistry*. 2015; 2015:628833. DOI: <https://doi.org/10.5171/2015.628833>
29. Valeev TK, Suleymanov RA, Orlov AA, et al. Estimation of risk to health of the population connected with quality of potable water. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2016; (9(282)):17-19. (In Russian).

Контактная информация:

Уланова Татьяна Сергеевна, доктор биологических наук, заведующий отделом химико-аналитических методов исследования ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
e-mail: ulanova@fcrisk.ru

Corresponding author:

Tatyana S. Ulanova, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Analytical Chemistry, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies
e-mail: ulanova@fcrisk.ru

