

© КОНЫШИНА Л.Г., 2019

Коньшина Л.Г.

ОЦЕНКА РИСКА ЗДОРОВЬЮ ДЕТЕЙ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ НЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЕКАТЕРИНБУРГА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт промышленной экологии» Уральского отделения Российской академии наук, 620990, Екатеринбург

Введение. В последние годы методология оценки риска стала ведущим инструментом оценки здоровья различных групп населения, позволяющим выявлять приоритетные негативные факторы среды обитания.

Материал и методы. Исследованы 212 скважин, в том числе 150 в коллективных садах и 62 в коттеджных посёлках. Изучен приоритетный пероральный путь поступления химических веществ в организм.

Результаты. Основной неканцерогенный риск в источниках нецентрализованного водоснабжения на территории МО г. Екатеринбург создают нитраты и соединения мышьяка. Уровни неканцерогенных рисков при использовании воды из скважин в коттеджных посёлках существенно ниже неканцерогенных рисков в садоводческих товариществах. Допустимый уровень неканцерогенного риска для детей до 6 лет имеют 17,4% водоисточников в коллективных садах и 25% скважин в коттеджных посёлках; для взрослых 60,8 и 93,8% соответственно. Обнаруженные концентрации нитратов в отдельных скважинах садоводческих товариществ могут создавать высокий неканцерогенный риск. Суммарный индивидуальный пожизненный канцерогенный риск как в воде коллективных садов, так и в воде скважин коттеджных посёлков колеблется от 10^{-5} до 10^{-4} и, следовательно, находится на низком уровне, наибольший вклад вносят соединения мышьяка.

Обсуждение. В отличие от проведённой ранее традиционной оценки качества питьевой воды, когда основными веществами, по которым было обнаружено несоответствие гигиеническим нормативам, были марганец, нитраты, железо и кремний, при оценке опасности воды с использованием методологии оценки риска на первые места выходят нитраты и мышьяк при значительно меньшей роли марганца. Расчёт канцерогенных рисков с использованием возрастных поправочных коэффициентов (ADAF) привёл к увеличению значений риска, вычисленного по традиционной методике, почти в 2 раза.

Заключение. Уровни неканцерогенных рисков при использовании воды из скважин в коттеджных посёлках существенно ниже неканцерогенных рисков в садоводческих товариществах.

Ключевые слова: вода; источники нецентрализованного питьевого водоснабжения; неканцерогенный; канцерогенный риск.

Для цитирования: Коньшина Л.Г. Оценка риска здоровью детей, обусловленного химическим составом питьевой воды источников нецентрализованного водоснабжения Екатеринбурга. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(9): 997-1003. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-997-1003>

Для корреспонденции: Коньшина Лидия Геннадьевна, кандидат мед. наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Институт промышленной экологии» УрО РАН, 620219, Екатеринбург. E-mail: lida@ecko.uran.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 28.01.2019

Принята к печати 23.07.19

Опубликована: октябрь 2019

Konshina L. G.

RISK ASSESSMENT OF CHILDREN'S HEALTH DUE TO THE CHEMICAL COMPOSITION OF DRINKING WATER SOURCES OF THE NON-CENTRALIZED WATER SUPPLY OF THE CITY OF YEKATERINBURG

Institute of Industrial Ecology of Urals Department of Russian Academy of Science, Ekaterinburg, 620219, Russian Federation

Introduction. In recent years, the risk assessment methodology has become the leading tool for assessing the health of various groups of the population, allowing identifying priority negative environmental factors.

Material and methods. There were explored 212 wells, including 150 in collective gardens and 62 in cottage settlements. The priority oral route of chemical intake into the body was studied.

Results. Nitrates and arsenic compounds create the main non-carcinogenic risk in the sources of non-centralized water supply in the territory of the Municipal Settlement of the city of Ekaterinburg. When using water from wells in cottage settlements levels of non-carcinogenic risks are significantly lower than non-carcinogenic risks in horticultural partnerships. Acceptable level of non-carcinogenic risk for children under 6 years are related with 17.4% of water sources in collective gardens and 25% of wells in cottage settlements; for adults - 60.8% and 93.8% respectively. The detected nitrate concentrations in individual wells of horticultural associations can create a high non-carcinogenic risk. The total individual lifetime carcinogenic risk, both in the water of collective gardens and in the water wells of cottage settlements ranges from 10^{-5} to 10^{-4} and, therefore, is at a low level, the greatest contribution is made by arsenic compounds.

Discussion. In contrast to the earlier traditional assessment of drinking water quality, when the main substances for which the discrepancy was found to hygienic standards were manganese, nitrates, iron and silicon, in the assessment of water danger using the methodology of risk assessment, nitrates and arsenic come to the first place, with a much smaller role of manganese. The calculation of carcinogenic risks using age correction factors (ADAF) has increased

the risk values calculated by the traditional method by almost 2 times. Summary Levels of non-carcinogenic risks when using water from wells in cottage settlements are significantly lower than non-carcinogenic risks in horticultural partnerships.

Key words: *water; sources of non-centralized drinking water supply; non-carcinogenic; carcinogenic risk.*

For citation: Konshina L.G. Risk assessment of children's health due to the chemical composition of drinking water sources of the non-centralized water supply of the city of Ekaterinburg. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(9): 997-1003. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-997-1003>

For correspondence: Lidia G. Konshina, MD, Ph.D., senior researcher of the Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, 620219, Russian Federation. E-mail: lida@ecko.uran.ru

Information about authors: Konshina L.G., <http://orcid.org/0000-0003-1191-0651>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: January 28, 2019
Accepted: July 23, 2019
Published: October, 2019

Введение

Десятки тысяч людей в Свердловской области используют для питьевых целей воду нецентрализованных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, качество которой не всегда соответствует санитарно-гигиеническим нормативам. В силу того, что источники индивидуального водоснабжения обустроены на территории как населённых пунктов, так и садоводческих товариществ, дачных и коттеджных посёлках, качество воды в них колеблется в широких пределах. Наиболее часто в воде обнаруживаются повышенные концентрации железа, марганца, нитратов, бариума. Значимые доли от допустимых уровней в отдельных случаях могут быть зарегистрированы по содержанию кремния, нитритов, кальция и др. [1, 2].

В последние годы методология оценки риска стала ведущим инструментом оценки здоровья различных групп населения, позволяющим выявить приоритетные негативные факторы среды обитания [3–6]. Эта оценка по сравнению с традиционными методами на основе кратности и частоты превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) даёт возможность получить количественную оценку вероятности развития нарушений в состоянии здоровья, рассчитать суммарные риски от нескольких веществ, определить вклад каждого токсиканта в возникновение нарушений в состоянии здоровья, провести сравнительную характеристику рисков, учесть особенности воздействия на различные чувствительные группы населения [7, 8]. В научной литературе имеется много работ по оценке риска здоровью, обусловленного питьевой водой, как за рубежом [9–12], так и на территории России [5, 13]. При этом наиболее часто повышенный неканцерогенный риск в подземных водах связан с присутствием значительных количеств соединений мышьяка [11, 12, 14], нитратов и нитритов [10, 14, 15]. Кроме того, причиной высокой токсической опасности могут выступать соединения хрома [16], марганца, цинка, ртути, урана и т. д. [17–19].

В то же время в России имеется ряд областей исследований, в которых оценка риска до сих пор недостаточно широко представлена. Одним из таких разделов является оценка неканцерогенного и канцерогенного риска при употреблении питьевой воды из нецентрализованных источников водоснабжения. Необходимость подобных исследований определяется тем, что в течение последних десятилетий число индивидуальных благоустроенных домов, рассчитанных на круглогодичное проживание, неуклонно растёт. В известных работах по оценке риска от использования воды из индивидуальных источников водоснабжения в России [20–23] анализируется риск, создаваемый нитратами, железом, марганцем, свинцом, кадмием, мышьяком и другими веществами на таких территориях, как г. Томск, Иркутская, Калужская, Амурская области. Главную опасность для здоровья, как правило, представляют нитраты и мышьяк. В англоязычной научной литературе опубликовано много работ, посвящённых оценке риска в индивидуальных источниках водоснабжения, в странах Северной и Южной Америки, Европы; в последние годы появилась масса работ по странам Азии и Африки [11, 15, 17, 24]. Так же как и в России, риски определяются не только в отношении наиболее частых токсикантов – нитратов и мышьяка, но и для целого

ряда других веществ, особенно в районах горнорудных разработок, антропогенного загрязнения подземных вод – хрома, кадмия, свинца, ртути, сурьмы, урана и др. Данная работа является продолжением ранее начатых исследований, в которых на основе традиционного нормативного подхода были определены частота и кратность превышения концентраций вредных веществ над ПДК [25].

Цель работы – оценка канцерогенного и неканцерогенного риска для здоровья детского и взрослого населения, обусловленного химическим составом питьевой воды в индивидуальных источниках нецентрализованного водоснабжения на территории коттеджных посёлков и садоводческих некоммерческих товариществ.

Материал и методы

Скважины исследовались в коттеджных посёлках (КП) и садоводческих некоммерческих товариществах (СНТ), расположенных в радиусе до 60 км от Екатеринбурга в период с 2005 по 2017 г. Были изучены 212 трубчатых колодцев, в том числе 150 в коллективных садах и 62 в коттеджных посёлках, глубина которых колебалась от 15 до 50 м, пробы отбирались во все сезоны года. Изученные источники относятся к глубоким трубчатым колодцам, находящимся в индивидуальном пользовании. В питьевой воде анализировались более 50 показателей, включающих широкий спектр химических соединений (Al, Ba, Be, Fe, Cd, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Hg, Pb, Se, Sr, Cr, Zn, Li, Co, Ag, Sb, W, Na, Sn, Cs, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻ и т. д.). Исследования состава питьевой воды выполнялись на оборудовании аккредитованной аналитической лаборатории Института промышленной экологии УрО РАН (Аттестат аккредитации № RA.RU.21.ПИ 32 от 26.01.2016 г.) с использованием следующих методов: атомной абсорбции, титриметрии, спектрофотометрии, ионометрии, гравиметрии, потенциометрии, флуориметрии.

Был изучен приоритетный пероральный путь поступления в организм химических веществ, содержащихся в воде. Ингаляционное и кожное воздействие в работе не рассматривались. Расчёт доз и оценка канцерогенных и неканцерогенных рисков химических веществ проводились согласно Руководству по оценке риска [26], определение диапазонов риска – в соответствии с принятой классификацией [27]. Неканцерогенные риски рассчитывались для детей в возрасте до 6 лет и для взрослого населения на основе безопасных (референтных) доз и суммарных индексов опасности (THI). При расчёте рисков использовались стандартные факторы экспозиции (масса тела детей до 6 лет – 15 кг, взрослых – 70 кг, объём потребляемой питьевой воды соответственно – 1 и 2 л. Приоритетным являлось определение вреда здоровью для детей до 6 лет, что связано с большей интенсивностью процессов обмена веществ в данном возрасте, а также тем, что доза токсических веществ, поступающая в организм на единицу массы тела, является наибольшей по сравнению с более старшими детьми, подростками и взрослыми.

Для расчёта канцерогенных рисков использовались среднесуточные пожизненные дозы (LADD), факторы канцерогенного потенциала (SF) и рекомендованные возрастные поправочные коэффициенты (ADAFs) [28]. Для возраста: от рождения

Таблица 1

Содержание химических веществ (мг/л) в воде индивидуальных скважин в садоводческих товариществах ($n = 150$) и коттеджных посёлках ($n = 62$), $M \pm m$

Вещество	СНТ		КП	
	дети	взрослые	дети	взрослые
Железо	0,12 ± 0,01		0,07 ± 0,02	
Алюминий	0,02 ± 0,002		0,01 ± 0,002	
Марганец	0,11 ± 0,027		0,08 ± 0,020	
Нитраты	45,5 ± 3,4*		10,0 ± 3,8	
Натрий	10,8 ± 1,5*		5,4 ± 1,9	
Кальций	58,8 ± 2,7*		45,8 ± 4,51	
Магний	16,8 ± 1,32		13,9 ± 1,96	
Нитриты	0,03 ± 0,008		0,06 ± 0,018	
Кадмий	0,0001 ± 0,00001		0,0001 ± 0,00002	
Кобальт	0,0002 ± 0,0001		0,0003 ± 0,0003	
Медь	0,008 ± 0,0009		0,008 ± 0,0031	
Цинк	0,07 ± 0,01*		0,02 ± 0,003	
Никель	0,01 ± 0,001*		0,002 ± 0,0024	
Свинец	0,0006 ± 0,0001*		0,0002 ± 0,00004	
Хром	0,005 ± 0,0004		0,004 ± 0,0001	
Мышьяк	0,001 ± 0,0001		0,001 ± 0,0002	
Стронций	0,27 ± 0,02*		0,19 ± 0,02	
Вольфрам	0,0002 ± 0,00003		0,0001 ± 0,00001	
Ртуть	0,0001 ± 0,0000		0,0001 ± 0,0000	
Молибден	0,002 ± 0,0002		0,002 ± 0,0004	
Литий	0,004 ± 0,0003		0,004 ± 0,0005	
Ванадий	0,002 ± 0,0002		0,001 ± 0,0002	
Барий	0,04 ± 0,005		0,04 ± 0,005	
Сурьма	0,0001 ± 0,0000		0,0001 ± 0,0000	
Нефтепродукты	0,005 ± 0,0026		0,000 ± 0,000	
Фенолы	0,0001 ± 0,00005		0,0001 ± 0,00006	

Примечание.* – достоверные различия, $p < 0,05$.

до 2 лет ADAF = 10, от 2 до 16 лет – ADAF = 3, от 16 до 70 лет – ADAF = 1. Общий канцерогенный риск рассчитывался как сумма рисков для возрастных групп до 2 лет, от 2 до 16 лет и 16 лет и старше. Канцерогенный и неканцерогенный риски вычисляли для средних и максимальных концентраций загрязняющих веществ. Определение статистической значимости различий осуществлялось с помощью t -критерия Стьюдента и χ^2 .

Результаты

Химический состав воды в скважинах, пробуренных на территории садоводческих товариществ и коттеджных посёлков, в целом характерен для геохимии Урала [29]. Однако в ряде случаев отмечаются более высокие, чем кларковые, а в отдельных случаях и предельно допустимые концентрации железа, нитратов, марганца, бария, кремния и др. (табл. 1). В исследуемой воде в коллективных садах определены достоверно более высокие, чем в коттеджных посёлках, концентрации нитратов, соединений натрия, кальция, цинка, никеля, свинца и стронция, что, по-видимому, связано с внесением удобрений и многолетним хозяйственным использованием территории.

Определение средних коэффициентов опасности (HQ) отдельных токсикантов в большинстве случаев показало более высокие значения для скважин в коллективных садах (табл. 2). Средние значения коэффициентов опасности для детей до 6 лет для всех веществ, кроме нитратов, ниже 1. Суммарный некан-

Таблица 2

Средние значения коэффициентов (HQ) и индексов (ТНІ) опасности для детей до 6 лет и взрослых

Вещество	СНТ		КП	
	дети	взрослые	дети	взрослые
Железо	0,03	0,01	0,01	0,01
Марганец	0,05	0,02	0,04	0,02
Нитраты	1,80	0,77	0,40	0,17
Натрий	0,02	0,01	0,01	0,00
Кальций	0,09	0,04	0,07	0,03
Магний	0,09	0,04	0,08	0,03
Нитриты	0,02	0,01	0,04	0,02
Кадмий	0,02	0,01	0,02	0,01
Медь	0,03	0,01	0,01	0,00
Цинк	0,04	0,02	0,00	0,00
Никель	0,02	0,01	0,02	0,01
Свинец	0,01	0,00	0,00	0,00
Мышьяк	0,24	0,10	0,20	0,09
Стронций	0,03	0,01	0,02	0,01
Барий	0,03	0,01	0,04	0,01
Вольфрам	0,01	0,00	0,00	0,00
Ртуть	0,02	0,01	0,02	0,01
Молибден	0,02	0,01	0,02	0,01
Литий	0,01	0,00	0,01	0,01
Ванадий	0,01	0,00	0,00	0,00
Сурьма	0,01	0,01	0,01	0,00
Нефтепродукты	0,01	0,00	0,00	0,00
Фенолы	0,00	0,00	0,00	0,00
Суммарный риск, ТНІ	2,61	1,10	1,03	0,44

церогенный риск от употребления питьевой воды в коллективных садах для детей ТНІ = 2,61 и взрослых ТНІ = 1,01 – низкий; в коттеджных посёлках для детей ТНІ = 1,05 риск низкий, для взрослых ТНІ = 0,45 – допустимый. Таким образом, суммарный индекс опасности воды в садоводческих товариществах для населения всех возрастных групп более чем в 2 раза превышает индекс опасности в коттеджных посёлках. Только риск для взрослых в коттеджных посёлках находится на приемлемом уровне.

Приведённые данные показывают, что основной риск как для детей, так и для взрослых создают нитраты и мышьяк. Последний у детей до 6 лет обуславливает низкий уровень неканцерогенного риска. И только риск, вызываемый нитратами, для детей на территориях садоводческих товариществ достигает средних значений. Неканцерогенный риск, создаваемый остальными ингредиентами, оценивается как допустимый.

В отдельных скважинах суммарные индексы опасности могут превосходить средние значения индексов в несколько раз. В связи с тем, что основной вклад вносят нитраты, заметим, что по нитратам максимальное значение коэффициента опасности в садоводческих товариществах для детей превышает 10, и соответственно создаваемый ими риск оценивается как высокий. Риски, обусловленные марганцем, нитритами и мышьяком, достигают среднего уровня. В воде скважин коттеджных посёлков нитраты также могут содержаться в количествах, создающих высокий риск, средний риск в отдельных случаях вызывают

Таблица 3

Максимальные значения коэффициентов опасности (НҚ) в индивидуальных водоисточниках для детей до 6 лет

Вещество	СНТ	КП	Кратность различий
Железо	0,95	0,65	1,5
Марганец	1,75	0,26	6,7
Нитраты	12,4	5,74	2,2
Натрий	0,25	0,49	0,5
Кальций	0,32	0,17	1,9
Магний	0,39	0,48	0,8
Нитриты	1,62	0,34	4,8
Кадмий	0,24	0,08	3,0
Медь	0,28	0,33	0,9
Цинк	0,45	0,01	45,0
Никель	0,12	0,16	0,8
Свинец	0,15	0,02	7,5
Мышьяк	1,69	1,73	1,0
Стронций	0,13	0,05	2,6
Барий	0,24	0,11	2,2
Молибден	0,08	0,04	2,0

соединения мышьяка (табл. 3). Для большинства соединений риск оценивается как низкий или допустимый. Для веществ, не приведённых в таблице, наибольшие значения коэффициентов опасности находились в допустимых пределах, то есть ниже 0,1. Максимальные значения суммарного индекса опасности (ТНІ) для скважин в садоводческих товариществах достигали 14,9, в коттеджных посёлках – 6,1, то есть находились в диапазоне высокого риска. Обнаруженные максимальные значения коэффициентов опасности для ряда веществ в коллективных садах

значительно выше, чем в коттеджных посёлках, особенно по цинку, марганцу, нитритам, кадмию, свинцу, а также по железу, нитратам, кальцию, цинку, стронцию, барию и молибдену.

В связи с тем, что качество воды в индивидуальных источниках существенно различается, приводим распределение частоты встречаемости различных уровней неканцерогенного риска для детей до 6 лет, связанного с отдельными ингредиентами в скважинах садовых товариществ и коттеджных посёлков (табл. 4). В воде скважин коллективных садов большинство веществ, как правило, укладываются в допустимый и низкий диапазон риска по величине коэффициента опасности. Лишь марганец, нитраты, нитриты и мышьяк в ряде случаев создают средний уровень риска. Почти в 16% скважин нитраты вызывают риск, который оценивается как высокий. В значительном проценте скважин выявлен низкий неканцерогенный риск, обусловленный соединениями кальция и магния. В изученных скважинах коттеджных посёлков большинство компонентов также создаёт допустимый или низкий неканцерогенные риски. Нитраты и мышьяк в подавляющем проценте случаев ответственны за риск, оцениваемый как низкий, однако в ряде скважин их коэффициент опасности соответствует среднему уровню риска (см. табл. 4). Присутствие значительных количеств соединений марганца, кальция и магния в заметном проценте водоисточников обуславливают низкий неканцерогенный риск. Обнаруженные в воде коттеджных посёлков концентрации соединений натрия, цинка, кадмия, свинца, стронция в отличие от водоисточников в коллективных садах соответствуют допустимым значениям неканцерогенного риска. Таким образом, процент проб с допустимым уровнем риска в скважинах коттеджных посёлков по сравнению с водоисточниками коллективных садов выше по большинству ингредиентов. Достоверные отличия по распределению различных уровней риска между КП и СНТ наблюдаются по нитратам, кальцию и барию.

В целом по значениям суммарных индексов опасности (ТНІ) допустимый уровень неканцерогенного риска для детей имеют 17,4% водоисточников в коллективных садах и 25% скважин в коттеджных посёлках, для взрослых 60,8 и 93,8% соответственно. Низкий уровень неканцерогенного риска для детей наблюдается в 50% водоисточников садоводческих товариществ и в 62,5% скважин коттеджных посёлков; для взрослых – в 34,8 и

Таблица 4

Удельный вес различных уровней неканцерогенного риска, %

Вещество	Допустимый (НҚ < 0,1)		Низкий (0,1 < НҚ < 1,0)		Средний (настораживающий) (1,0 < НҚ < 3,0)		Высокий (НҚ > 3,0)	
	СНТ	КП	СНТ	КП	СНТ	КП	СНТ	КП
Железо	93,2	93,8	6,8	6,2	0	0	0	0
Марганец	85,2	87,5	12,4	12,5	2,4	0	0	0
Нитраты	15,7*	31,2	39,7*	56,3	28,8*	12,5	15,8*	0
Натрий	96,1	100,0	3,9	0	0	0	0	0
Кальций	65,6*	81,3	34,4*	18,7	0	0	0	0
Магний	59,8	68,8	40,2	31,2	0	0	0	0
Нитриты	93,2	90,7	6,0	9,3	0,8	0	0	0
Кадмий	97,8	100,0	2,2	0	0	0	0	0
Медь	94,3	93,8	5,7	6,2	0	0	0	0
Цинк	90,2	100,0	9,8	0	0	0	0	0
Никель	93,9	90,7	6,1	9,3	0	0	0	0
Свинец	93,9	100,0	6,1	0	0	0	0	0
Мышьяк	4,3	3,3	93,5	93,4	2,2	3,3	0	0
Стронций	95,5	100,0	4,5	0	0	0	0	0
Барий	83,3*	91,9	16,7*	8,1	0	0	0	0
Нефтепродукты	95,0	100,0	5,0	0	0	0	0	0

Примечание. * – достоверные различия по критерию χ^2 .

Уровни индивидуального канцерогенного риска

Химический элемент	Садовые некоммерческие товарищества		Коттеджные посёлки	
	Индивидуальный канцерогенный риск (ICR)			
	средний	максимальный	средний	максимальный
<i>С учётом поправочных возрастных коэффициентов (ADAF)</i>				
Кадмий	2,75E-06	4,12E-05	1,99E-06	1,30E-05
Свинец	0,71E-06	2,17E-05	0,49E-06	2,95E-06
Мышьяк	6,96E-05	6,84E-04	6,05E-05	7,02E-04
Суммарный риск, TCR	7,30E-05	7,47E-04	6,30E-05	7,18E-04
<i>Без учёта поправочных возрастных коэффициентов</i>				
Кадмий	1,48E-06	2,29E-05	1,08E-06	0,70E-05
Свинец	0,38E-06	1,21E-05	0,27E-06	1,64E-06
Мышьяк	3,76E-05	3,80E-04	3,37E-05	3,90E-04
Суммарный риск, TCR	3,94E-05	4,15E-04	3,51E-05	3,99E-04

6,2% соответственно. Высокий неканцерогенный риск для детей от употребления питьевой воды обнаружен почти в 9% скважин, пробуренных в коллективных садах.

Влияние на отдельные органы и системы. Опираясь на полученные значения коэффициентов опасности, можно заключить, что основное неблагоприятное воздействие на организм оказывают нитраты и мышьяк. Нитраты, а также тесно с ними связанные нитриты отрицательно влияют на состав крови и сердечно-сосудистую систему. Также возможно их участие в повышении онкологического риска (через стадию нитрозоаминов и модификацию blastomogenesis) [30]. Спектр неблагоприятного влияния мышьяка значительно шире: в токсических дозах он нарушает функции многих систем организма: нервной, сердечно-сосудистой, иммунной, эндокринной, пищеварительной. Исходя из механизмов токсического действия химических соединений, были определены основные критические органы и системы. Наибольшие суммарные индексы опасности установлены для кроветворной (2,1) и сердечно-сосудистой системы (2,1), однако даже для детей в коллективных садах они не выходят за пределы низкого уровня риска. В диапазоне допустимого неканцерогенного риска находится воздействие на нервную систему, в том числе центральную, эндокринную, иммунитет, желудочно-кишечный тракт, кожу, почки и др. В отдельных случаях значимые неканцерогенные риски (рассчитанные на основе максимальных концентраций) создают нитриты, соединения железа, марганца, кальция, магния, бария, цинка, в силу чего возможно их неблагоприятное влияние на функции следующих органов и систем: нервную систему, почки, иммунную систему, кожу, слизистые и биохимические процессы организма.

Определение канцерогенного риска. Из всех изучавшихся химических веществ канцерогенными свойствами обладают три: кадмий, свинец и мышьяк. Применение поправочных возрастных коэффициентов значительно повысило уровни канцерогенных рисков по сравнению с более грубым расчётом рисков без применения ADAF (табл. 5). При применении ADAF в допустимый диапазон укладываются значения рисков, создаваемых средними концентрациями всех трёх изучавшихся канцерогенов как в коллективных садах, так и в коттеджных посёлках. Максимальные концентрации свинца и кадмия также обуславливают допустимый уровень риска, и лишь присутствие соединений мышьяка в максимальных концентрациях создаёт неприемлемый для населения канцерогенный риск. Средние канцерогенные риски, создаваемые кадмием, свинцом и мышьяком в питьевой воде коттеджных посёлков, ниже, чем в садоводческих товариществах. Максимальный канцерогенный риск, вызываемый кадмием в воде коттеджных посёлков, ниже, чем в коллективных садах, в три раза, обусловленный свинцом – в семь раз, в то время как значения максимальных рисков, создаваемых мышьяком, практически одинаковы. Суммарный пожизненный канцерогенный риск (TCR), рассчитанный на основе средних концентраций

как в воде коллективных садов, так и в воде скважин коттеджных посёлков относится к диапазону $1 \cdot 10^{-5}$ и, следовательно, находится на приемлемом уровне. Суммарный риск, определённый по максимальным концентрациям, в обоих случаях значительно превышает $1 \cdot 10^{-4}$ и, таким образом, относится к диапазону неприемлемого риска. Основной вклад в канцерогенный риск вносят соединения мышьяка: 91,6% в скважинах коллективных садов и 97,8% в воде коттеджных посёлков. Заметим, что канцерогенный риск питьевой воды, подаваемой в систему централизованного водоснабжения города Екатеринбурга, также в основном формируется соединениями мышьяка и находится в диапазоне приемлемого риска [31].

Обсуждение

Хотя в отечественной гигиенической литературе имеется много исследований по оценке неканцерогенного и канцерогенного риска питьевой воды, однако это, как правило, работы, оценивающие риск для воды систем централизованного водоснабжения. Однако в связи с дальнейшим распространением коттеджного строительства и бурением скважин вместо колодцев на садовых участках появляется всё больше работ по оценке риска химического состава питьевой воды из индивидуальных источников водоснабжения [20, 23]. В отличие от проведённой ранее традиционной оценки качества питьевой воды [25], когда основными веществами, по которым было обнаружено несоответствие гигиеническим нормативам, были марганец, нитраты, железо и кремний, при оценке опасности воды с использованием методологии оценки риска на первые места выходят нитраты и мышьяк при значительно меньшей роли марганца. Неканцерогенный риск, обусловленный кремнием, не определялся из-за отсутствия установленной референтной дозы. Согласно результатам зарубежных исследований, уровни неканцерогенного риска в индивидуальных скважинах чаще находятся на допустимом уровне, однако встречаются отдельные неблагоприятные ситуации с высокими рисками, как правило, в странах Азии и Африки [17, 24]. Высокая доля мышьяка в суммарном неканцерогенном риске (ТН), часто наблюдающаяся как в России, так и в других странах, связана с геохимическими особенностями водовмещающих пород [11, 29]. Нитраты являются одними из основных контаминантов, ответственных за высокие значения НQ и НI в воде индивидуальных скважин, родников и колодцев. В отдельных случаях значения коэффициентов опасности, создаваемых нитратами, могут колебаться от нескольких единиц до 10 [32–34].

У жителей МО г. Екатеринбург и прилегающих территорий основное неблагоприятное воздействие испытывают кровь и система кровообращения, в меньшей степени – нервная система, иммунитет, кожа и желудочно-кишечный тракт. Оценка неканцерогенного риска при использовании питьевой воды

из индивидуальных скважин в окрестностях г. Томска выявила, что максимальное неблагоприятное воздействие контаминантов испытывают сходные системы и органы [22].

По средним неканцерогенным рискам, вызываемым пероральным употреблением питьевой воды в садоводческих товариществах и коттеджных посёлках, существенная разница установлена только по нитратам. В то время как по максимальным возможным рискам отличия между водой в коллективных садах и коттеджных посёлках выявлены по большому набору соединений железа, марганца, кальция, кадмия, цинка, свинца, стронция, бария и нитритам. Отдельные высокие значения неканцерогенных рисков в коттеджных посёлках, по-видимому, связаны с выбором неудачной площадки для строительства, например, территории, которая уже ранее использовалась в хозяйственных целях.

Расчёт канцерогенных рисков с использованием возрастных поправочных коэффициентов (ADAF) привёл к увеличению значений риска, вычисленного по традиционной методике [26], почти в 2 раза, что связано с более высокими канцерогенными рисками в детском возрасте в силу физиологических, метаболических и прочих особенностей растущего организма.

Неопределённость полученных результатов связана с рядом факторов. В частности, не рассматривались ингаляционный и перкутантный пути поступления контаминантов. Однако заметим, что дозы веществ, поступающих в организм этими путями, составляют лишь несколько процентов от основного, перорального пути. В связи с чем представленные данные в целом отражают реальные величины неканцерогенного и канцерогенного риска. Также несомненно, что увеличение числа наблюдений, особенно количества исследованных скважин на территории коттеджных посёлков, повысило бы надёжность полученных данных. Некоторое искажение результатов возможно также из-за использования стандартных значений факторов экспозиции. Тем не менее при сравнительном анализе использование стандартных величин является правомерным. Все перечисленные допущения вносят некоторую неопределённость в результаты исследования, поэтому полученные значения характеристик риска могут рассматриваться как относительные.

Заключение

1. Основной неканцерогенный риск в источниках нецентрализованного водоснабжения на территории МО г. Екатеринбург и прилегающих территориях создают нитраты и соединения мышьяка.

2. Уровни неканцерогенных рисков при использовании воды из скважин в коттеджных посёлках существенно ниже неканцерогенных рисков в садоводческих товариществах.

3. Суммарный индивидуальный пожизненный канцерогенный риск как в воде коллективных садов, так и в воде скважин коттеджных посёлков колеблется от 10^{-5} до 10^{-4} и, следовательно, находится на низком уровне. Наибольший вклад вносят соединения мышьяка.

Литература

(пп. 9–12, 15–19, 24, 28, 32–34 см. References)

- Борзунова Е.А., Кузьмин С.В., Акрамов Р.Л., Киямова Е.Л. Оценка влияния качества питьевой воды на здоровье населения. *Гигиена и санитария*. 2007; 3: 32–4.
- Никонов Б.И., Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Акрамов Р.Л., Малых О.Л., Власов И.А. О состоянии питьевого водоснабжения в Свердловской области, проблемы и пути решения. *Уральский медицинский журнал*. 2007; 11 (39): 21–5.
- Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. *Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих окружающую среду*. М.; 2002. 408 с.
- Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А., Воробьева Л.М., Горяев Д.В. и др. Сравнительная оценка канцерогенных рисков здоровью населения при многосредовом воздействии химических веществ. *Гигиена и санитария*. 2015; 94 (2): 88–92.
- Унгурияну Т.Н., Новиков С.М. Результаты оценки риска здоровью населения России при воздействии химических веществ питьевой воды (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2014; 1: 19–24.
- Зайцева Н.В., Май И.В., Шур П.З. Анализ риска здоровью населения на современном этапе. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2013; 2: 20–4.
- Боев В.М., Кряжев Д.А., Тулина Л.М., Неплохов А.А. Оценка канцерогенного риска для здоровья населения моногородов и сельских поселений. *Анализ риска здоровью*. 2017; 2: 57–63.
- Унгурияну Т.Н. Многосредовый канцерогенный риск для здоровья населения промышленного города. *Гигиена и санитария*. 2011; 6: 77–80.
- Степанова Н.В., Валеева Э.Р., Фомина С.Ф., Зиятдинова А.И. Оценка неканцерогенного риска для здоровья детского населения при потреблении питьевой воды. *Гигиена и санитария*. 2016; 95 (11): 1079–1083.
- Горяев Д.В., Тихонова И.В., Торотенкова Н.Н. Гигиеническая оценка качества питьевой воды и риски для здоровья населения Красноярского края. *Анализ риска здоровью*. 2016; 3: 35–43.
- Безогодов И.В., Ефимова Н.В., Кузьмина М.В. Качество питьевой воды и риск для здоровья населения сельских территорий Иркутской области. *Гигиена и санитария*. 2015; 2: 15–9.
- Семенова И.В., Лыков И.Н., Каткова М.Н. Оценка экологического состояния и риска использования воды родников урбанизированных территорий. *Проблемы региональной экологии*. 2012; 6: 29–33.
- Янкович Е.П., Осипова Н.А., Лыготин В.А., Лукашевич О.Д., Янкович К.С. Химический состав подземных вод как фактор риска для здоровья населения (на примере Томского района Томской области). *Современные проблемы науки и образования*. 2014; 3.
- Попов А.А. Характеристика риска, связанного с химическим составом питьевой воды, для здоровья населения, в сельских районах юга Амурской области. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2017; 63: 85–90.
- Коньшина Л.Г. Оценка качества воды источников нецентрализованного водоснабжения МО город Екатеринбург и его окрестностей. *Гигиена и санитария*. 2016; 95 (5): 413–6.
- Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004. 143 с.
- Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска. М.; 2017. 68 с. ISBN 978-5-9904022-9-4.
- Черняев А.М., Черняева Л.Е. *Очерки по гидрохимии подземных вод*. Свердловск: УралНИИВХ; 1973. 196 с.
- Ильницкий А.П. Нитраты и нитриты питьевой воды как фактор онкологического риска. *Гигиена и санитария*. 2003; 6: 81–4.
- Кузьмина Е.А., Кузнецов Е.О., Кузнецов В.Н., Бруснищина Л.А. Оценка канцерогенного риска здоровью, связанного с качеством питьевой воды, на примере крупного промышленного центра. *Вестник Уральского медицинского академического университета*. 2015; 2 (53): 62–4.

References

- Borzunova E.A., Kuz'min S.V., Akramov R.L., Kiyamova E.L. Estimation of influence of quality of drinking-water on the health of population. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2007; 3: 32–4. (in Russian)
- Nikonov B.I., Kuz'min S.V., Gurvich V.B., Akramov R.L., Malyh O.L., Vlasov I.A. About the state of drinkable water-supply in the Sverdlovsk area, problems and ways of decision. *Ural'skiy medicinskiy zhurnal*. 2007; 11 (39): 21–5. (in Russian)
- Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rahmanin Ju.A., Avaliani S.L. et al. *Basics of assessing the risk to public health when exposed to chemicals polluting the environment*. Moscow; 2002. 408 p. (in Russian)
- Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislicin V.A., Vorob'eva L.M., Gorjaev D.V. et al. Comparative assessment of carcinogenic risks to public health in multi-media exposure to chemicals. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2015; 94 (2): 88–92. (in Russian)
- Ungurjanu T.N., Novikov S.M. The results of the assessment of the risk to the health of the population of Russia when exposed to chemicals of drinking water (literature review). *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2014; 1: 19–24. (in Russian)
- Zajceva N.V., Maj I.V., Shur P.Z. Analysis of the risk to public health at the present stage. *Zdravookhranenie Rossiyskoy Federatsii*. 2013; 2: 20–4. (in Russian)
- Boev V.M., Krjazhev D.A., Tulina L.M., Neplohov A.A. Assessment of carcinogenic risk to the health of the population of single-industry towns and rural settlements. *Analiz riska zdorov'yu [Health risk analysis]*. 2017; 2: 57–63. (in Russian)
- Ungurjanu T.N. Multi-media carcinogenic risk to the health of the population of an industrial city. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2011; 6: 77–80. (in Russian)

9. Guidelines for drinking water quality. 3rd ed. World Health Organization. 2006.
10. Health Canada (2013). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – Nitrate and Nitrite. Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments Consumer Safety Branch, Health Canada: Ottawa, Ontario; 2013.
11. Chappells H., Parker L., Fernandez C.V., Conrad C., Drage J., O'Toole G. et al. Arsenic in private drinking water wells: an assessment of jurisdictional regulations and guidelines for risk remediation in North America. *J Water Health*. 2014; 12 (3): 372–92.
12. Tung Bui Huy, Tran Thi Tuyet-Hanh, Johnston R., Hung Nguyen-Viet. Assessing Health Risk due to Exposure to Arsenic in Drinking Water in Hanam Province, Vietnam. *Int J Environ Res Public Health*. 2014; 11: 7575–91.
13. Stepanova N.V., Valeeva Je.R. Fomina S.F., Zijatdinova A.I. Assessment of non-carcinogenic risk to children's health when drinking water is consumed. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2016; 95 (11): 1079–83. (in Russian)
14. Gorjaev D.V., Tihonova I.V., Torotenkova N.N. Hygienic assessment of the quality of drinking water and the health risks of the population of the Krasnoyarsk Territory. *Analiz riska zdorov'yu [Health risk analysis]*. 2016; 3: 35–43. (in Russian)
15. Sadler R., Maetam B., Edokpolo B., Connell D., Yu J., Stewart D. et al. Health risk assessment for exposure to nitrate in drinking water from village wells in Semarang, Indonesia. *Environ Pollut*. 2016; 216: 738–45.
16. Şener Ş., Şener E., Davraz A. Assessment of groundwater quality and health risk in drinking water basin using GIS. *J Water Health*. 2017; 15 (1): 112–32.
17. Singh U.K., Ramanathan A.L., Subramanian V. Groundwater chemistry and human health risk assessment in the mining region of East Singhbhum, Jharkhand, India. *Chemosphere*. 2018; 204: 501–13.
18. Huang B., Li Z., Chen Z., Chen G., Zhang C., Huang J. et al. Study and health risk assessment of the occurrence of iron and manganese in groundwater at the terminal of the Xiangjiang River. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2015; 22 (24): 19912–21.
19. Kohzadi S., Shahmoradi B., Raushani D., Nouri A. Evaluation and risk assessment of heavy metals in groundwater resources of Saghez, Iran. *J Environ Health*. 2018; 80 (6): 1–9.
20. Bezgodov I.V., Efimova N.V., Kuz'mina M.V. The quality of drinking water and the risk to the health of the population of rural areas of the Irkutsk region. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2015; 2: 15–9. (in Russian)
21. Semenova I.V., Lykov I.N., Katkova M.N. Assessment of ecological status and risk of water use in urban areas springs. *Problemy regional'noy ekologii*. 2012; 6: 29–33. (in Russian)
22. Jankovich E.P., Osipova N.A., L'gotin V.A., Lukashevich O.D., Jankovich K.S. The chemical composition of groundwater as a risk factor for public health (for example, Tomsk district, Tomsk region). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; 3. (in Russian)
23. Popov A.A. Characteristics of the risk associated with the chemical composition of drinking water for public health in rural areas of the South of the Amur region. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya*. 2017; 63: 85–90. (in Russian)
24. Adeniyi A., Yusuf K., Okedeyi O., Sowemimo M. Classification and Health Risk Assessment for Borehole Water Contaminated by Metals in Selected Households in Southwest Nigeria. *JWARP*. 2016; 8 (4): 459–71.
25. Kon'shina L.G. Assessment of water quality of non-centralized water supply sources MO city of Yekaterinburg and its environs. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2016; 95 (5): 413–6. (in Russian)
26. Guidance of human health risk assessment from environmental chemicals. Moscow: Federal'nyj centr Gossanehpindadzora Minzdrava Rossii; 2004. 143 p. (in Russian)
27. Guidelines for the integrated prevention of environmentally-related diseases based on risk assessment. M.; 2017. 68 p. ISBN 978-5-9904022-9-4 (in Russian).
28. Guidance on selecting age groups for monitoring and assessing childhood exposures to environmental contaminants EPA/630/P-03/003F November 2005.
29. Chernjaev A.M., Chernjaeva L.E. *Essays on groundwater hydrochemistry*. Sverdlovsk; 1973. 196 p. (in Russian)
30. Il'nickij A.P. Nitrates and nitrites of drinking-water as an oncologic risk factor. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2003; 6: 81–4. (in Russian)
31. Kuz'mina E.A., Kuznecov E.O., Kuznecov V.N., Brusnicina L.A. Assessment of carcinogenic health risks associated with the quality of drinking water on the example of a large industrial center. *Vestnik Ural'skoy medicinskoj akademicheskoy nauki*. 2015; 2 (53): 62–4. (in Russian)
32. Hernandez-Espriu A., Dominguez-Mariani E., Reyna-Gutierrez J.A., Martinez-Santos P., Sanchez-Leon E., Marin L. Nitrate mass balance in agricultural areas of intensive fertilizer application: The North Maresme aquifer system case study (Spain). *B Soc Geol Mex*. 2013; 65 (1): 39–50.
33. Thomson B.M., Nokes C.J., Cressey P.J. Intake and risk assessment of nitrate and nitrite from New Zealand foods and drinking water. *Food Addit Contam*. 2007; 24 (2): 113–21.
34. Hoagnia M.-A., Andrei M.L., Cadar O., Senila L., Levei E., Ristoiu D. Health risk assessment associated with nitrogen compounds contaminated drinking water in Medias region. *Studia UBB Chemia*, LXI, 3, Tom II, 2016: 451–60.