

А. Р. Галимова, Ю. А. Тунакова

ОЦЕНКА РИСКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДОПРОВОДНОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ПО ЗОНАМ В Г. КАЗАНИ УСТАНОВЛЕННОГО КАТИОННОГО СОСТАВА

Ключевые слова: питьевая вода, оценка риска, интегральный показатель, тяжелые металлы.

В работе приведены результаты расчета риска потребления населением водопроводной воды в конечной точке потребления (домах и квартирах) по зонам в г. Казани. Рассчитаны канцерогенный и неканцерогенный риски, а также интегральный показатель опасности питьевой воды.

Key words: drinking water, risk assessment, an integral index, heavy metals.

The results of the calculation of the risk of consumption of tap water in a final point of consumption (houses and apartments) in the zones in Kazan. Carcinogenic and non-carcinogenic calculated risks as well as the integral indicator dangers of drinking water.

Введение

В настоящее время оценка риска рассматривается как ведущий аналитический инструмент для установления характеристики воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды на здоровье населения и в качестве главного механизма разработки и принятия природоохранных управленческих решений.

В научном отношении оценка риска здоровью - это последовательное, системное рассмотрение всех аспектов воздействия анализируемого фактора на здоровье человека, включая обоснование допустимых уровней воздействия. В научно-практическом приложении основная задача оценки риска состоит в получении и обобщении информации о возможном влиянии факторов среды обитания человека на состояние его здоровья, необходимой и достаточной для гигиенического обоснования наиболее оптимальных управленческих решений по устранению или снижению уровней риска, оптимизации контроля (регулируемого и мониторинга) уровней экспозиций и рисков.

Оценка риска для здоровья человека - это количественная и/или качественная характеристика вредных эффектов, способных развиться в результате воздействия факторов среды обитания человека на конкретную группу людей при специфических условиях экспозиции [1].

Целью нашего исследования явилась оценка риска здоровью человека при употреблении питьевой воды неудовлетворительного качества в отношении катионного состава потребляемых питьевых вод населением г. Казани.

Зонирование территории города

Качество водопроводной воды в г. Казани зависит от трех основных факторов: качества воды в водоисточниках; качества подготовки воды на водозаборах; вторичного загрязнения воды в трубах по пути с водозаборов до потребителя.

Объем сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты Казани в 2012 году составил 254 млн м³ в год, из них 45 млн м³ - промышленные предприятия. Крупнейшие сбросы

воды производят МУП «Водоканал», а также завод ОАО "Казаньоргсинтез" и «Казанский завод синтетического каучука». По результатам систематических наблюдений основными загрязняющими веществами, поступающими со сточными водами, являются взвешенные вещества, хлориды, нитраты, нитриты, сульфаты, фосфаты и аммонийный азот. Гидрохимическое состояние Куйбышевского водохранилища в районе расположения г. Казани характеризуется повышенными уровнями нефтепродуктов (до 2,9 ПДКв.в.), фосфатов, аммонийному азоту, ряду так называемых тяжелых металлов и др.

По данным территориального управления Роспотребнадзора по состоянию на 01.01.2013 года на территории республики насчитывается 2562 водопровода (2011г. - 2585 водопроводов). Доля водопроводов, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям в отчетном году, составил 8,1 % (2011г. - 7,9%, 2010г. - 8,0%).

Качество питьевой воды по санитарно-химическим и микробиологическим показателям из распределительной сети в ретроспективе лет (за 2008-2012 годы) не соответствует гигиеническим требованиям по санитарно-химическим показателям [2]. По данным системы социально-гигиенического мониторинга республики Татарстан к числу приоритетных веществ, загрязняющих питьевую воду систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, за период 2010-2012гг., отнесены:

а) железо, соли кальция и магния, марганец, нитраты, сульфаты за счет поступления из источника водоснабжения;

б) железо, цветность, мутность выявляющиеся в питьевой воде в процессе транспортирования воды.

Применение методологии оценки риска здоровью позволяет получать количественные характеристики ущерба здоровью от воздействия вредных факторов среды, устанавливать более надежные безопасные уровни воздействия и гигиенические нормативы, в том числе региональные уровни минимального риска. Методология оценки риска позволяет

количественно оценить опасность потребления питьевой воды неудовлетворительного качества населением, обоснованно выделить приоритетные загрязняющие вещества и определить требования к доочистке [3].

Для определения качества потребляемой питьевой водопроводной воды в г. Казани пробы отбирались в конечной точке потребления (домах и квартирах) на территории города по 11 зонам обслуживания детских поликлиник. Мы предлагаем использовать разделение территории города на районы по зонам обслуживания поликлиник, что в дальнейшем позволит разработать адресные рекомендации по доочистке питьевых вод и обеспечить их практическую реализацию.

Ввиду высокой чувствительности детского население является маркером экологического неблагополучия, отражающим степень неблагоприятного воздействия факторов внешней среды на население [7]. Сроки проявления неблагоприятных эффектов на воздействия у детей значительно короче, чем у взрослого населения. К тому же дети в меньшей степени, чем взрослые, подвержены внутригородской миграции; они теснее привязаны к территории, что позволяет проводить исследования территориально-дифференцированно [4]. Поэтому, а также отдавая приоритет защите здоровья детского населения, нами для зонирования были выбраны детские поликлиники (рис. 1).



Рис. 1 - Зоны обслуживания детских поликлиник г. Казани

Оценка неканцерогенного риска

Расчет риска проводился для металлов - приоритетных загрязняющих веществ, характеризующихся токсичностью при малых дозах поступления, высокой распространенностью и многообразными источниками поступления, способностью к биоаккумуляции и к межсредовому распределению, миграции, способность вызывать необратимые, отдаленные вредные эффекты и обладающие высокой медико-социальной значимостью [3]. В отобранных нами пробах воды определялось содержание цинка, железа, меди, стронция, свинца и хрома. Исследования проводились в сертифицированной лаборатории методом атомно-абсорбционной спектрометрии. В результате анализа установлено, что содержание металлов в разных районах и зонах исследования

(рис. 2) колеблется в широких пределах, что обусловлено как принадлежностью источников потребления к разным водозаборам, так и различной степенью изношенности и коррозии конкретных водоподводящих магистралей [5].

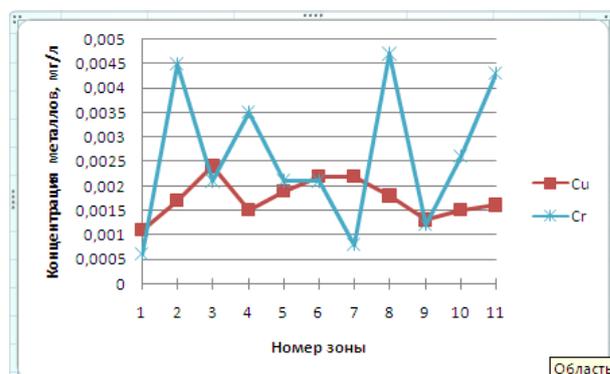


Рис. 2 - Средние значения концентраций металлов в питьевой водопроводной воде по зонам исследования, (мг/л)

Оценка неканцерогенного риска здоровью проводилась на основании методик, изложенных в руководстве Р 2.1.10.1920-04, применяющем величины референтных доз, которые являются индивидуальной характеристикой каждого вещества (пороговая модель расчета).

Для всех анализируемых нами катионов металлов в воде централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Казани в конечной точке потребления, на этапе идентификации опасности характерно наличие потенциальной способности для здоровья детского населения. Анализируемые катионы металлов, поступающие в организм с потребляемой питьевой водой, способны оказывать неканцерогенное воздействие в отношении многих органов и систем, в том числе печени, желудочно-кишечного тракта, центральной нервной, репродуктивной, сердечно-сосудистой, иммунной, нейроэндокринной, костной систем, кожных покровов, процессов развития организма [1].

Нами рассчитаны дозы при хроническом пероральном поступлении анализируемых примесей с питьевой водой для детского населения по выделенным зонам исследования на территории г.Казани. На этапе оценки экспозиции установлено, что рассчитанные дозы при хроническом пероральном поступлении анализируемых химических примесей с питьевой водой не превышают референтные уровни (RFD) для детского населения. Коэффициент опасности HQ определяют путем сопоставления величин потенциальной суточной дозы вещества, поступающего определенным путем, и уровня безопасного воздействия при этом же пути поступления (табл. 1). Если рассчитанный коэффициент опасности (HQ) вещества не превышает единицу, то вероятность развития у человека вредных эффектов при ежедневном поступлении вещества в течение жизни считается

несущественным и такое воздействие характеризуется как допустимое.

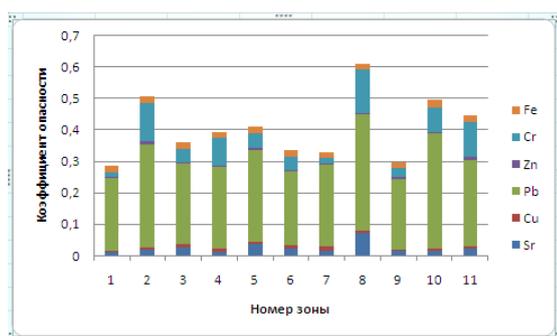


Рис.3 - Коэффициенты опасности HQ здоровью населения от воздействия водного перорального фактора среды обитания в г. Казань

Индекс опасности (HI), который является характеристикой риска развития неканцерогенных эффектов при комбинированном и комплексном воздействии химических соединений для условий одновременного поступления нескольких веществ одним и тем же путем, рассчитывается как сумма коэффициентов опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих веществ. При комплексном поступлении химического вещества в организм человека из окружающей среды одновременно несколькими путями критерием риска является суммарный индекс опасности (ТНІ). Расчет индексов опасности целесообразно проводить с учетом критических органов/систем, поражаемых исследуемыми веществами, т. к. при воздействии компонентов смеси на одни и те же органы или системы организма наиболее вероятным типом их комбинированного действия является суммация (аддитивность). Анализ аддитивного однонаправленного действия нескольких веществ питьевой воды на органы/системы-мишени показал, что индексы опасности хронического воздействия (ТНІ_{во}) не превышают допустимый уровень для детского населения, потребляющего воду в выделенных зонах исследования.

Наибольший риск здоровью при потреблении питьевой воды, загрязненной металлами установлен для детского населения, проживающего в зонах 2, 5, 8, 10 и 11. Наименьшему риску подвергается детское население зон 1 и 9. Наибольший вклад в формирование риска вносит установленное нами содержание катионов свинца, наименьший вклад – содержание катионов цинка. Органы – мишени, наиболее подверженные риску воздействия: кровеносная система, ЦНС, изменения биохимических показателей, процессы развития организма и репродуктивная система.

Далее нами была проведена оценка неканцерогенного риска с применением беспороговой модели по стандартной методической рекомендации МР 2.1.4.0032-11, при которой полученная величина риска показывает вероятность развития патологий при заданных уровнях дозовых нагрузок (индивидуальный риск).

Пороговые концентрации C_{lim} связаны с максимальными недействующими (ПДК для веществ, регламентированных по токсикологическому признаку) в соответствии с формулой 1:

$$ПДК = C_{lim} / K_3 \quad (1)$$

где K_3 – коэффициент запаса, принимаемый равным 100 у веществ с выраженной вероятностью отдаленных последствий и 10 у остальных веществ. При принятии этого допущения уравнение расчета риска токсичных примесей в питьевой воде примет вид:

$$Risk = 1 - \exp((\ln(0.84)/ПДК * K_3) * C) \quad (2)$$

C – это средняя ежедневная концентрация вещества, поступающего в организм человека с питьевой водой в течение его жизни.

На рисунке 4 представлены неканцерогенные риски, связанные с употреблением водопроводной воды по зонам в г. Казани, рассчитанные беспороговым методом. Оценка суммарного неканцерогенного риска осуществляется методом умножения вероятностей.

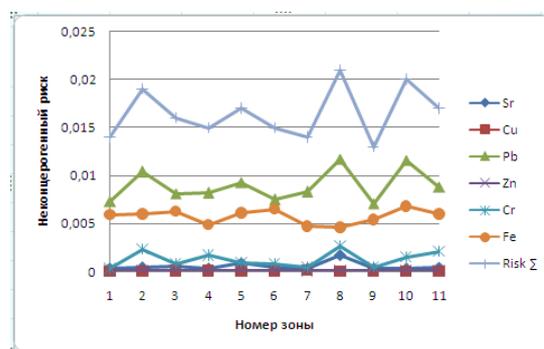


Рис. 4 – Неканцерогенные риски потребления водопроводной воды

Неканцерогенный риск ориентирован на ожидаемый рост заболеваемости населения патологиями, связанными с особенностями токсического действия анализируемых нами катионов металлов, находящихся в питьевой воде. При выборе величины приемлемого риска следует ориентироваться на значение статистической ошибки, при которой уровень заболеваемости в группах сравнения не превышает достоверное значение. По различным оценкам эта величина составляет 0,02-0,05. Для выбора приемлемого значения неканцерогенного риска необходимо учесть, что в абсолютном большинстве случаев загрязняющее вещество, содержащееся в питьевой воде, воздействует на организм не изолированно, а в комплексе с другими веществами, обладающими установленными эффектами синергизма и антагонизма. Кроме того, однотипность химического состава питьевой воды, потребляемой человеком в течение суток, различна. Потому в качестве приемлемой величины риска следует использовать величину 0,05 [6]. Как видно из табл. 3, неканцерогенный риск, рассчитанный беспороговым методом, не превышает приемлемые значения ни в одной зоне.

Оценка канцерогенного риска

Для оценки канцерогенного риска применялась беспороговая модель по стандартной методической рекомендации МР 2.1.4.0032-11, при которой полученная величина риска показывает вероятность развития онкологических заболеваний при заданных уровнях дозовых нагрузок (индивидуальный риск). Среди загрязняющих веществ, определяемых нами в водопроводной воде в конечной точке потребления канцерогенным эффектом обладают катионы свинца и хрома (VI).

При оценке канцерогенных рисков используют средние суточные дозы LADD, усредненные с учетом ожидаемой средней продолжительности жизни человека (70 лет). Расчет индивидуального канцерогенного риска осуществляется с использованием данных о величине экспозиции и значениях факторов канцерогенного потенциала. Как правило, для канцерогенных химических веществ дополнительная вероятность развития рака у индивидуума на всем протяжении жизни (Risk) оценивается с учетом среднесуточной дозы в течение жизни (формула 3):

$$\text{Risk} = \text{LADD} \times \text{SF}, \quad (3)$$

где LADD - среднесуточная доза в течение жизни, мг/(кг × день); SF - фактор канцерогенного потенциала (SF), (мг/(кг × день))⁻¹.

При воздействии нескольких канцерогенов суммарный канцерогенный риск для данного пути поступления рассчитывается сумма канцерогенных рисков для отдельных веществ.

Таблица 1 - Доза, мг/(кг × день) и канцерогенный риск

Зона	Доза Pb	Доза Cr	RiskPb	RiskCr	Risk _{кан}
1	0,0003	0,000022	0,000016	0,000009	0,000025
2	0,0005	0,000181	0,000023	0,000076	0,000099
3	0,0004	0,000063	0,000018	0,000026	0,000044
4	0,0004	0,000134	0,000018	0,000056	0,000075
5	0,0004	0,000071	0,000021	0,000030	0,000051
6	0,0004	0,000063	0,000017	0,000026	0,000043
7	0,0004	0,000027	0,000018	0,000012	0,000030
8	0,0006	0,000211	0,000026	0,000089	0,000115
9	0,0003	0,000038	0,000016	0,000016	0,000032
10	0,0006	0,000115	0,000026	0,000048	0,000074
11	0,0004	0,000167	0,000020	0,000070	0,000090

При оценке канцерогенного риска принимается во внимание его общепризнанная классификация по четырем диапазонам риска [6]. В соответствии с рекомендациями ВОЗ применительно к качеству питьевой воды в качестве приемлемого канцерогенного риска следует выбирать величину 0,00001.

Как видно из таблицы 2, суммарный канцерогенный риск здоровью от употребления водопроводной воды превышает верхний предел допустимого индивидуального канцерогенного риска во всех зонах.

Интегральный показатель качества питьевой воды

Для интегральной количественной оценки воздействия химических веществ разнонаправленного действия, содержащихся в питьевой воде, применялся унифицированный порядок расчетов рисков на основе беспорогового метода [6]. Для интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности пороговые методы оказываются малоэффективными, так как количественное значение доли повышения норматива или референтной дозы (концентрации) носит лишь качественный характер и не отражает уровень (значимость) риска для здоровья, а значит не может быть использовано для сравнения и суммарной оценки. Беспороговые модели, основанные на вероятностных оценках развития неблагоприятного эффекта, более адекватны и могут быть использованы для оценки качества питьевой воды по отдельным ингредиентам, для суммарных оценок, а также для сравнительных оценок величины значений риска.

Для расчета интегрального показателя применяется формула 4. Результаты расчета интегрального показателя опасности питьевой воды при употреблении водопроводной воды по зонам в городе Казани представлены в таблице 5.

$$\text{ИП} = \text{Риск}_{\text{нек}} / \text{ПЗ}_{\text{нек}} + \text{Риск}_{\text{кан}} / \text{ПЗ}_{\text{кан}} \quad (4)$$

ИП - интегральный показатель опасности питьевой воды; Risk_{нек} - суммарный неканцерогенный риск; ПЗ_{нек} - приемлемое значение неканцерогенного риска; Risk_{кан} - суммарный канцерогенный риск; ПЗ_{кан} - приемлемое значение канцерогенного риска.

Таблица 2 - Интегральный показатель опасности питьевой воды

Зона	Risk _{кан}	Risk _{нек}	Risk _{кан} / ПЗ	Risk _{нек} / ПЗ	ИП
1	0,000025	0,014	2,54	0,27	2,82
2	0,000099	0,019	9,91	0,38	10,29
3	0,000044	0,016	4,45	0,32	4,77
4	0,000075	0,015	7,47	0,30	7,77
5	0,000051	0,017	5,05	0,34	5,39
6	0,000043	0,015	4,31	0,31	4,61
7	0,000030	0,014	2,99	0,27	3,27
8	0,000115	0,021	11,47	0,41	11,89
9	0,000032	0,013	3,19	0,27	3,46
10	0,000074	0,020	7,43	0,40	7,84
11	0,000090	0,017	8,98	0,35	9,32

Анализ значений интегрального показателя опасности питьевой воды показал, что основной вклад в риск здоровью населения от употребления водопроводной воды вносит канцерогенный риск, формируемый наличием в воде металлов хрома и свинца. Наибольшей опасности подвержено население зон 2 и 8, однако, во всех зонах идет превышение приемлемых значений канцерогенного риска в 2,5-11,5 раз. Таким образом, водопроводная вода в домах и квартирах населения г. Казани требует доочистки с применением фильтров и фильтросистем, что рассматривалось в наших более ранних работах [8-9].

Литература

1. Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Москва, 2004. - 129 стр.;
2. Государственный доклад о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Республике Татарстан в 2012 году, 255 стр.;
3. Ревич. Б.А. Экологическая эпидемиология: Учебник для высш. учеб. заведений / Б.А. Ревич, С.Л. Авалиани, Г.И. Тихонова – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 384 с.;
4. Урбоэкология / Научный совет по проблемам биосферы. – М.: Наука, 1990. – 240с.;
5. Ю.А. Тунакова, А.Р. Галимова, Ю.А. Шмакова. *Вестник Казанского технологического университета*, **15**, 19, 76-79 (2012);
6. МР 2.1.4.0032-11 Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности от 31.07.2011.
7. Ю.А. Тунакова. *Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки*, **148**, 2. 180-185 (2013).
8. А.Р. Галимова, *I городская студенческая конференция «Междисциплинарные исследования в области естественных наук»* (Казань, Россия, 2008), РИЦ «Школа», Казань, 2008, с 12;
9. Ю.А. Тунакова, А.Р. Галимова, *Вестник Казанского технологического университета*, **15**, 19, 83-86 (2012).

© **А. Р. Галимова** – ст. препод. каф. общей химии и экологии КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, galimovaalina585@rambler.ru;
Ю. А. Тунакова – д-р хим. наук, проф. каф. технологии пластических масс КНИТУ, juliaprof@mail.ru.

© **A. Galimova** - senior Lecturer of general chemistry and ecology of KNRTU A.N. Tupolev – KAI, galimovaalina585@rambler.ru;
J. Tunakova - Doctor of Chemistry, professor of technology of plastics of KNRTU, juliaprof@mail.ru.