

ФАКТОРЫ И УРОВНИ РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОМПОНЕНТОВ ПИТЬЕВЫХ ВОД В ГРАНИЦАХ ПРИРОДНЫХ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЙ ПЕРМСКОГО КРАЯ

А.Н. Фоменко¹, В.А. Аристов², О.А. Маклакова², В.А. Хорошавин³

¹Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю, 614016, г. Пермь, ул. Куйбышева, 50

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

³Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае, Россия, 614016, г. Пермь, ул. Куйбышева, 50

Оценивался риск развития нарушений здоровья у населения, длительно и систематически потребляющего питьевые воды специфического химического состава. Качество питьевых вод формируется условиями гидрогеохимических провинций с повышенным содержанием в горных породах и почвах таких опасных металлов, как хром, никель, свинец, марганец, железо. Показано, что отсутствие (или низкая частота) нарушений гигиенических нормативов содержания примесей в питьевой воде не является полной гарантией ее безопасности в сложных гидрогеохимических условиях.

*Совместное присутствие в природных и питьевых водах ряда канцерогенных примесей (кадмия, хрома, никеля, мышьяка, свинца) даже в низких концентрациях может являться причиной формирования недопустимых рисков для здоровья населения. Питьевые воды исследованных геохимических провинций Пермского края формируют индивидуальный пожизненный канцерогенный риск (при наихудших сценариях экспозиции) на уровне $4 \cdot 10^{-3}$. Риск квалифицируется как риск *De manifestis Risk* и требует от лиц, принимающих решения, проведения неотложных мероприятий по его снижению. Недопустимые неканцерогенные риски формируются совместным присутствием в питьевых водах мышьяка марганца, стронция и ряда других соединений. Наибольшие риски на изученных территориях были отмечены в отношении болезней желудочно-кишечного тракта (НІ до 10,9; основной фактор риска – хром и его соединения), костно-мышечной системы (НІ до 11,8; основной фактор – стронций) и центральной нервной системы (НІ до 11,8, основные факторы: мышьяк марганец и свинец. При этом вклады элементов в общий риск в разных провинциях были различны).*

В ряде случаев при наличии высокого уровня опасного элемента в земной коре не ведется его измерение в питьевых водах. Водоподающим организациям и органам санитарного надзора рекомендовано ориентироваться на специфику геохимической провинции и включать в программы мониторинга и лабораторных исследований при надзоре примеси, имеющие высокие уровни содержания в природной среде.

Ключевые слова: геохимическая провинция, питьевая вода, химический состав, безопасность, риск для здоровья.

Задача обеспечения населения качественной, а значит безопасной для здоровья, питьевой водой ставится высшими органами власти страны как государственный приоритет¹. Задача непростая, поскольку качество воды, подаваемой потребителю, определяется многими факторами: природным составом воды источника водоснабжения, антропо-

генным воздействием (прежде всего объемами и составом сбрасываемых в поверхностные водоисточники или закачиваемых в подземные горизонты сточных вод), технологией водоподготовки, применяемыми реагентами, состоянием инженерных коммуникаций и т.п. [1–3]. При этом если антропогенное загрязнение, техническое и технологическое

© Фоменко А.Н., Аристов В.А., Маклакова О.А., Хорошавин В.А., 2018

Фоменко Александр Николаевич – главный специалист-эксперт отдела надзора по коммунальной гигиене (e-mail: fomienko_87@mail.ru; тел.: 8 (342) 239-34-80).

Аристов Владислав Андреевич – бакалавр кафедры экологии человека и безопасности жизнедеятельности (e-mail: root@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

Маклакова Ольга Анатольевна – доцент кафедры экологии человека и безопасности жизнедеятельности (e-mail: olga_mcl@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-27-92).

Хорошавин Виктор Алексеевич – доктор медицинских наук, главный врач (e-mail: sgero@mail.ru; тел.: 8 (342) 239-34-09).

¹ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента [Электронный ресурс] // Президент России: официальный сайт. – URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/57425> (дата обращения: 20.06.2018).

оснащение систем водоподготовки являются управляемыми факторами, то природный химический состав водного объекта практически не может быть изменен современными средствами. Ситуация осложняется в тех случаях, когда водоисточник, который не в полной мере соответствует гигиеническим требованиям, является безальтернативным или все водные объекты территории характеризуются близким химическим составом в силу природно-геохимических особенностей местности. Последнее типично для гидрогеохимических провинций, качественное и безопасное питьевое водоснабжение которых зачастую составляет сложную задачу. К примеру, природные мышьяковистые аномалии, существенно влияющие на качество природных и питьевых вод, выявлены в таких странах, как Аргентина, Непал, Камбоджа, Гана, Китай, Бангладеш, Иран [4, 5]. В разовых исследованиях получены данные о том, что содержание мышьяка до 2500 мг/л, что делает воду небезопасной для здоровья человека [6].

На проблемы природного повышенного содержания свинца в питьевых водоисточниках указывают исследователи Турции [7]. Опасные концентрации урана, мышьяка и селена в подземных водах, используемых населением, описаны в работах монгольских исследователей [8]. Высокие уровни фторидов формируют недопустимые риски для здоровья граждан Мас-тунгского, Мангочарского и Прингабадского районов провинции Белуджистан в Пакистане [9, 10] и т.п.

По данным ряда авторов, в России существуют обширные регионы, в пределах которых питьевые подземные воды содержат повышенные концентрации токсичных элементов и являются причиной нарушения здоровья населения [11]. Так, в результате изучения качества подземных вод Республики Дагестан и исходя из общих геохимических предпосылок было выявлено, что в северной части республики в результате природных процессов формируется региональная гидрогеохимическая провинция подземных вод с повышенным до 20 ПДК содержанием мышьяка [12]. Вотейко указывает на нарушения функций почек в условиях селеновой Забайкальской биогеохимической провинции [13]. По данным А.В. Абрамкина, сложившаяся на территории Республики Мордовия гиперфторовая биогеохимическая провинция является основой для формирования у жителей республики эндемического флюороза [14]. Имеются территории с природным повышенным содержанием радона, что формирует риски радиационного воздействия на население [15].

В целом основными факторами, определяющими вероятность появления высоких концентраций токсичных элементов в поверхностных и подземных водах – источниках питьевого водоснабжения – в границах гидрогеохимических провинций, являются:

– наличие горных пород, отличающихся относительно повышенными концентрациями этих веществ;

– высокая выщелачивающая способность водовмещающих пород;

– разнообразие форм присутствия элементов в породах, в том числе наличие легкорастворимых соединений;

– благоприятные гидрогеологические и гидрохимические условия, определяемые высокой скоростью водообмена и химическими типами воды;

– интенсивная эксплуатация подземных вод для целей хозяйственно-бытового водоснабжения, что обуславливает активное взаимодействие различных водоносных горизонтов, усиливает скорость водообмена и интенсивность физико-химического взаимодействия в системе «вода–порода».

Пермский край – территория со сложной геологической структурой и разнообразным химическим составом недр и почв. Регион характеризуется наличием 14 геохимических провинций, каждая из которых отличается повышенным содержанием определенных неорганических соединений (рисунок). Соответственно, особенности подстилающих горных пород и почв в границах этих провинций влияют на химический состав источников питьевого водоснабжения населения [16, 17]. При этом среди элементов и соединений, специфичных для геохимических провинций региона, регистрируются те, которые доказанно могут оказывать негативное влияние на здоровье человека даже в незначительных концентрациях: свинец, кадмий, никель, хром, марганец, ванадий и пр. (табл. 1).

Цель исследования состояла в оценке риска формирования нарушений здоровья у населения, длительно и систематического потребляющего питьевые воды химического состава, характерного для ряда гидрогеохимических провинций Пермского края.

Материалы и методы. Пространственные границы геохимических провинций устанавливали по данным атласа геоэкологической партии ПГГСП «Геокарта» в виде векторных слоев формата ГИС ArcView масштаба 1:1 000 000. Данные о местах расположения водозаборов были получены от Управления Федеральной службы в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю. Привязка мест водоисточников и пространственное пересечение точек расположения водозаборов и геохимических провинций выполняли в геоинформационной системе ГИС ArcView 3.2 (ESRI, USA).

Для оценки риска были выбраны три геохимических провинции, в границах которых расположены крупные водозаборы систем централизованного питьевого водоснабжения.

Сылвенская геохимическая провинция. Находится на юго-востоке Пермского края, охватывает центральную и южную часть Суксунского и север Кишертского районов. Характеризуется повышенным содержанием бора, бария, стронция (кларк²

² Кларковое число (или кларки элементов, еще чаще говорят просто кларк элемента) – числа, выражающие среднее содержание химических элементов в земной коре, гидросфере, Земле, космических телах, геохимических или космохимических системах и др., по отношению к общей массе этой системы. Выражается в % или г/кг.

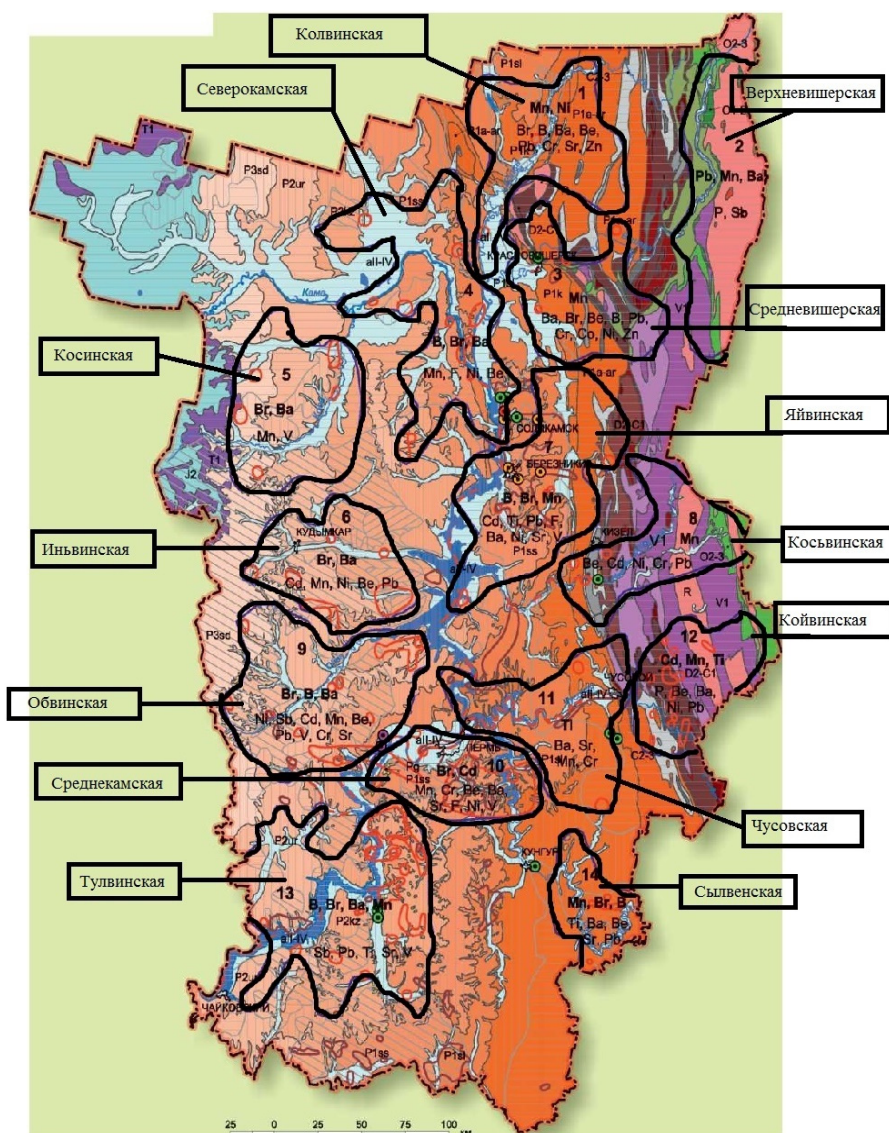


Рис. Геохимические провинции Пермского края [2]

Таблица 1

Особенности химического состава компонентов природной среды биохимических провинций Пермского края

Геохимическая провинция	Особенности химического состава	
	площадное распространение	точечное распространение
Колвинская	Mn, Ni	B, Br, Ba, Be, Pb, Cr, Sr, Zn
Верхневишерская	Pb, Mn, Ba	P, Sb
Средневишерская	Mn	Ba Br, Be B, Pb, Cr, Co, Ni, Zn
Яйвинская	B, Br, Mn	Cd, Ti, Pb, F, Ba, Ni, Sr, V
Косинская	Br, Ba	Mn, V
Койвинская	Cd, Mn, Ti	P, Be, Ba, Ni, Pb, B, Br
Чусовская	Ti	Ba, Sr, Mn, Cr
Сылвенская	Mn, B, Br	Ti, Ba, Be, Sr, Pb
Тулвинская	B, Br, Ba, Mn	Sb, Pb, Ti, Sr, V
Среднекамская	Br, Cd	Mn, Cr, Be, Ba, Sr, F, Ni, V
Обвинская	Br, B, Ba	Sb, Cd, Mn, Be, Pb, V, Cr, Sr
Иньвинская	Br, Ba	Cd, Mn, Ni, Be, Pb
Косьвинская	Mn	Be, Cd, Ni, Cr, Pb
Северокамская	Br, B, Ba	Mn, F, Ni, Be

порядка 3,1), свинца (кларк – 1,3) марганца (кларк – 15,5). В границах провинции размещены водозаборы на р. Сылта в окрестностях п. Суксун, обеспечивающие водоснабжением более 8,3 тыс. человек.

Койвинская геохимическая провинция. Находится на востоке региона. Охватывает центральную часть Горнозаводского района, затрагивает восточную часть Чусовского и север Лысьвенского районов. Характеризуется высоким содержанием кадмия, марганца, свинца, никеля. Кларк кадмия достигает уровня 25, марганца – 15,4, чтократно выше, чем в других зонах региона. В границах провинции размещены водозаборы на р. Пашийка (пос. Пашия, население 4,1 тыс. человек) в центральной части Горнозаводского района и на р. Чусовая, находящейся в окрестностях п. Вороновка (население около 2,0 тыс. человек) на юге Горнозаводского района.

Чусовская геохимическая провинция. Находится в центральной части Пермского края, охватывает центральную часть Чусовского района, с востока – небольшую часть Добрянского района, с юга – Гремячинский район и с северо-запада – Лысьвенский район. Является наиболее разнообразной по химическому составу присутствующих металлов и сочетанию высоких концентраций марганца (кларк равен 23,0), меди (кларк равен 3,0), железа (кларк равен 10,0), молибдена (кларк равен 11). Провинция характеризуется высоким содержанием марганца, хрома, железа, никеля. В границах провинции размещены водозаборы на р. Чусовая, в г. Чусовом (нас. 48521 тыс. человек), и на р. Лысьва, находящейся в пос. Калино (нас. 2425 тыс. человек) на юге Чусовского района.

Качество питьевой воды систем централизованного водоснабжения оценивали по данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», полученным в ходе контрольно-надзорных мероприятий и социально-гигиенического мониторинга с привлечением данных ведомственных лабораторий водоснабжающих организаций (результаты производственного контроля стандартизованными методами). Период наблюдения с 2011 по 2016 г. При оценке качества природных и питьевых вод рассматривали результаты полного санитарно-химического анализа. При исследовании тяжелых металлов применялись методы атомно-абсорбционного анализа, позволяющие идентифицировать концентрации на уровнях до 0,0001 мг/проба. Проанализировано более 12 000 результатов измерений по водозаборам Горнозаводского района (р. Пашийка, р. Чусовая), Чусовского района (р. Чусовая, р. Лысьва), Кунгурского района (р. Кама, р. Юг), Суксунского района (р. Сылта) и др.

Методология оценки риска была выбрана как эффективный инструмент предварительного ана-

лиза ситуации, не требующий значительных финансовых и организационных затрат и одновременно позволяющий получить информацию для дальнейших управленческих действий [18, 19]. Оценку риска выполняли в соответствии с «Руководством по оценке риска для здоровья населения...»³, рассматривая описанные в документе негативные эффекты для здоровья (табл. 2). В качестве критерия допустимого канцерогенного риска принимали уровень пожизненного риска, равный $1 \cdot 10^{-4}$. В качестве критерия допустимого неканцерогенного риска принимали величину индекса опасности, равную 1,0.

Сценарий экспозиции принимали следующим: ежедневное потребление 350 дней в год воды с установленным на момент исследования качеством в течение 30 лет для расчета канцерогенного риска и 70 лет для расчета неканцерогенного риска. С учетом принципа предосторожности рассматривали концентрацию примеси в питьевой воде на уровне 95%-ного персентилиа за период наблюдения.

Таблица 2

Параметры для оценки рисков здоровью при поступлении химических примесей с питьевой водой

Элемент	RfD, мг/кг-сут.	Критические органы и системы	SF ₀ *
Барий	0,07	Почки, сердечно-сосудистая система	–
Бор	0,2	Репродуктивная система, желудочно-кишечный тракт	–
Железо	0,30	Слизистые, кожа, кровь, иммунная система	–
Кадмий	0,0005	Почки, эндокринная система	0,38
Марганец	0,14	Центральная нервная система, кровь	–
Медь	0,019	Желудочно-кишечный тракт	–
Молибден	0,005	Почки	–
Мышьяк	0,0003	Кожа, центральная нервная система, сердечно-сосудистая, иммунная, эндокринная системы, желудочно-кишечный тракт	1,5
Никель	0,02	Печень, сердечно-сосудистая система, желудочно-кишечный тракт, кровь, масса тела	1,7
Свинец	0,0035	Центральная нервная система, периферическая нервная система, кровь, системы развития, репродуктивная, эндокринная системы	0,047
Стронций	0,6	Костная система	–
Титан	4,00	Не установлено	–
Хром	0,005	Печень, почки, желудочно-кишечный тракт, слизистые	0,42

Примечание: * – фактор канцерогенного потенциала для канцерогенных веществ.

³ 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.

Параметры потребления питьевой воды и массы тела для расчета суточной дозы принимали стандартными.

Результаты и их обсуждение. Результаты многолетних наблюдений, включая данные полного санитарного анализа исследованных питьевых вод, показали, что структура исследований близка для разных источников водоснабжения. Программы контроля (и производственного, и государственного) слабо учитывают гидрогеохимические особенности территорий. Бор и бром – примеси, которые характерны для ряда геохимических провинций и для которых имеются доказанные негативные эффекты при пероральном поступлении, не контролируются ни водоподающими организациями, ни органами санитарного надзора. В санитарный анализ питьевой воды водозаборов Чусовской провинции не были включены исследования содержания стронция, хотя дан-

ный элемент специфичен для геологических пород, формирующих природные воды.

Металлы, в том числе тяжелые и амфотерные, которые представляют наиболее серьезную опасность для здоровья населения при длительном использовании питьевых вод изученных геохимических провинций, регистрировались в воде практически повсеместно (табл. 3).

Нарушения гигиенических нормативов содержания отдельных примесей регистрировались крайне редко (менее 1 % от числа исследованных проб). Оценка пожизненного канцерогенного риска показала, что в целом ситуацию с безопасностью питьевой воды на исследованных территориях можно оценить как тревожную. Уровни пожизненного канцерогенного риска в расчете на максимальный уровень загрязнения находились в диапазоне от $2,99 \cdot 10^{-4}$ до $4,01 \cdot 10^{-3}$ и квалифицировались как неприемлемые (табл. 4).

Таблица 3

Среднемноголетние суточные концентрации приоритетных химических примесей в питьевых водах, подаваемых населению, $M \pm m$, мг/дм³

Химический элемент	Геохимическая провинция		
	Сылвенская	Койвинская	Чусовская
Марганец	0,005 ± 0,0008	0,05 ± 0,0075	0,01 ± 0,0015
Кадмий	0,0002 ± 0,0001	0,0002 ± 0,0001	Не измерялось
Железо	0,0500 ± 0,0075	0,31 ± 0,05	1,1 ± 0,13
Свинец	0,0012 ± 0,0003	0,0001 ± 0,0001	Не измерялось
Никель	0,0065 ± 0,0012	0,0071 ± 0,015	0,0075 ± 0,015
Хром	0,010 ± 0,006	0,012 ± 0,007	0,018 ± 0,003
Молибден	Не измерялось	0,003 ± 0,0004	0,003 ± 0,0001
Медь	0,005 ± 0,001	0,004 ± 0,001	0,02 ± 0,003
Барий	нпо*	нпо	Не измерялось
Мышьяк	0,0025 ± 0,0005	0,001 ± 0,0003	0,0005 ± 0,0001
Стронций	7,30 ± 1,22	Не измерялось	Не измерялось

Примечание: * – нпо – ниже порога определения.

Таблица 4

Среднемноголетнее содержание ряда химических элементов в питьевых водах водозаборов, расположенных в границах геохимических провинций

Элемент	Среднемноголетняя концентрация, 95%-й перцентиль, мг/дм ³	Доза, мг/кг-сут	Канцерогенный риск	Вклад фактора в риск, %
<i>Сылвенская провинция</i>				
Кадмий	0,00025	6,85E-06	2,60E-06	0,5
Свинец	0,0015	4,11E-05	1,93E-06	0,4
Никель	0,0075	2,05E-04	3,49E-04	71,7
Хром	0,0180	2,44E-05	8,89E-05	18,3
Мышьяк	0,0030	2,94E-05	4,40E-05	9,0
Суммарный канцерогенный риск			3,98E-04 (недопустимый)	
<i>Койвинская провинция</i>				
Кадмий	0,00057	2,00E-05	5,93E-06	0,10
Свинец	0,0001	1,00E-06	1,29E-07	0,0
Никель	0,0080	2,19E-03	3,73E-03	93,1
Хром	0,0200	5,50E-04	2,30E-04	5,75
Мышьяк	0,0010	3,00E-05	4,11E-05	1,03
Суммарный канцерогенный риск			4,01E-03 (недопустимый)	
<i>Чусовская провинция</i>				
Никель	0,0082	9,63E-05	1,64E-04	54,7
Хром	0,0250	2,94E-04	1,23E-04	41,2
Мышьяк	0,0007	8,22E-06	1,25E-05	4,12
Суммарный канцерогенный риск			2,99E-04 (недопустимый)	

Примеси, обладающие канцерогенным эффектом, – соединения кадмия, свинца, никеля

Поражаемые органы (системы)	HI	Приоритетные факторы риска	HI	Приоритетные факторы риска	HI	Приоритетные факторы риска
	Сылвенская провинция		Койвинская провинция		Чусовская провинция	
Почки	1,4	Хром	3,4	Хром, молибден	4,2	Хром
Желудочно-кишечный тракт	10,9	Хром, мышьяк	6,3	Хром, мышьяк	6,7	Хром, мышьяк медь
Центральная нервная система	11,8	Мышьяк, свинец	3,7	Мышьяк, марганец	1,7	Мышьяк
Сердечно-сосудистая система	8,7	Мышьяк	3,7	Мышьяк	2,0	Мышьяк
Кровь	4,0	Свинец	1,8	Марганец, железо, свинец	4,1	Никель, железо
Иммунная система	8,5	Мышьяк	4,3	мышьяк	5,4	Мышьяк
Костная система	11,8	Стронций	–	–	–	–

Расчет канцерогенного риска на среднемноголетние значения позволил оценить риски как существенно менее значимые, однако и они находились выше верхней допустимой границы приемлемого риска ($1,9 \cdot 10^{-4}$ – Сылвенская; $2,3 \cdot 10^{-4}$ – Койвинская и $2,99 \cdot 10^{-4}$ – Чусовская провинция). Основной вклад в формирование канцерогенного риска для здоровья населения на всех трех территориях вносит никель. Концентрация этого компонента в природных водоисточниках подлежит более глубокому анализу. Требуется оценка метода определения с позиций надежности и точности получаемого результата. Актуальным представляется исследование сезонного колебания примеси в питьевой воде, выявление основных источников поступления никеля в питьевые воды.

Недопустимые неканцерогенные риски нарушения здоровья у населения, постоянно потребляющего воды указанного качества, формируются в отношении целого ряда органов и систем (табл. 5).

Высокие риски развития поражений функций ($HI > 5,0^4$) прогнозируются в отношении органов пищеварения, центральной нервной системы, иммунной системы у жителей всех исследованных геохимических провинций. Установлены умеренные риски ($3,0 < HI \leq 5,0$) в отношении развития поражений иммунной системы, почек (для Койвинской и Чусовской провинций), крови (для Сылвенской и Чусовской провинций).

Для Сылвенской провинции характерны высокие риски поражения костной системы вследствие высоких природных уровней стронция в питьевых водах.

В данной работе не стояла задача сравнения уровней рисков с реальной ситуацией по заболеваемости населения. Вместе с тем исследования ряда авторов хорошо коррелируются с полученными результатами. Так, в работах О.Ю. Устиновой с соавт. [20] углубленными клиническими и лабораторными исследованиями подтверждено вредное влияние марганца в питьевой воде на здоровье детей, выражающееся в развитии нейровегетативных дис-

функций. Имеются данные о регистрации повышенного уровня стронция в крови жителей, потребляющих воду с высоким уровнем стронция. При этом у экспонированных установлено несоответствие биологического возраста должному, а патологии костно-мышечной системы (нарушение осанки, деформация позвоночника и стоп) диагностировались в 2,5–10,0 раза чаще, чем в группе сравнения [21].

Выводы. Проведенные исследования показали, что формирование геохимических провинций с разными уровнями содержания в горных породах и почвах соединений таких опасных металлов, как хром, никель, свинец, марганец, железо и др., может оказывать существенное влияние на качество питьевой воды, подаваемой населению, проживающему в границах данных провинций.

Отсутствие или низкая частота нарушений гигиенических нормативов не является полной гарантией безопасности питьевой воды в сложных гидрогеохимических условиях формирования ее состава.

Совместное присутствие в природных и питьевых водах даже в низких концентрациях ряда канцерогенных примесей (кадмия, хрома, никеля, мышьяка, свинца) может являться причиной формирования недопустимых рисков для здоровья населения. Для исследованных провинций Пермского края уровни канцерогенного риска достигают (для условий наилучших сценариев экспозиции) величины $4 \cdot 10^{-3}$, что квалифицируется как *De manifestis Risk*. Уровень требует от лиц, принимающих решения, проведение неотложных мероприятий по снижению риска. Недопустимые неканцерогенные риски формируются совместным присутствием в питьевых водах мышьяка, марганца, стронция и ряда других соединений. Наибольшие риски на изученных территориях были отмечены в отношении болезней желудочно-кишечного тракта (HI до 10,9; основной фактор риска – хром и его соединения), костно-мышечной системы (HI до 11,8; основной фактор – стронций в воде) и центральной нервной системы (HI до 11,8, основные факторы: мышьяк, марганец и свинец). При этом вклады элементов в общий риск в разных провинци-

⁴ Критерии экспертно предложены авторами.

ях были различны). Очевидно, что требуется разработка и реализация системы мер по снижению уровня риска для здоровья и информирование об этих рисках всех заинтересованных сторон: организаций, обеспечивающих водоснабжение, население, органы местного самоуправления.

В ходе исследования не выявлены достоверные зависимости между уровнем среднего содержания элементов в земной коре геохимической провинции и концентрациями примесей в питьевых водах. Вместе с тем наибольшие концентрации кадмия и свинца были идентифицированы именно в питьевых водах тех провинций, где их уровни являются самыми высокими. При этом в ряде случаев при наличии высокого уровня опасного элемента в земной коре не ведется измерение в питьевых водах. В этой свя-

зи водоподающим организациям и органам санитарного надзора рекомендуется учитывать специфику геохимической провинции и включать в программы мониторинга и лабораторных исследований при надзоре анализы примесей, имеющих высокие уровни содержания в природной среде.

В связи с очень низкими референтными уровнями концентраций металлов целесообразным представляется совершенствование методов количественного определения элементов в питьевых водах.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Ивлева И.А., Алексеев Л.С., Болдин А.В. Барьерные функции технологий подготовки подземных вод для хозяйственно-питьевых целей // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 9–2. – С. 33–40.
2. Чудновский С.М., Лихачева О.И., Одинцов В.В. Оптимизация процессов управления традиционными технологиями подготовки питьевой воды // Евразийский союз ученых. – 2015. – Т. 14, № 5–4. – С. 14–16.
3. Черников В.А., Юнусов Х.Б. Оценка экологического состояния пресных вод и современные эффективные методы ее очистки от загрязнений // АгроЭкоИнфо. – 2017. – Т. 27, № 1. – С. 7.
4. Nordstrom D.K. Worldwide occurrences of arsenic in ground water // Public health. Science. – 2002. – Vol. 296, № 5576. – P. 2143–2145.
5. Khorasanipour M., Esmaeilzadeh E. Geo-genic arsenic contamination in the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Kerman, Iran: Implications for the source identification and regional analysis // Applied Geochemistry. – 2015. – Vol. 63. – P. 610–622.
6. Distribution of geogenic arsenic in hydrologic systems: controls and challenges / A. Mukherjee, P. Bhattacharya, K. Savage, A. Foster, J. Bundschuh // Journal of Contaminant Hydrology. – 2008. – Vol. 99, № 1–4. – P. 1–7.
7. Geochemical multi-element ICP-OES analysis of borehole waters from SE Anatolia / M.Z. Duz, M. Sagirdag, K.S. Çelik, M.A. Hasan, E. Kiliç // Atomic Spectroscopy. – 2016. – Vol. 37, № 2. – P. 43–49.
8. Spatial distribution of uranium and metalloids in groundwater near sandstone-type uranium deposits, Southern Mongolia / S. Ariunbileg, O. Gaskova, A. Vladimirov, A. Battushig, E. Moroz // Geochemical Journal. – 2016. – Vol. 50, № 5. – P. 393–401.
9. Chandio T.A., Khan M.N., Sarwar A. Fluoride estimation and its correlation with other physicochemical parameters in drinking water of some areas of Balochistan, Pakistan // Environmental Monitoring and Assessment. – 2015. – Vol. 187, № 8. – P. 531
10. Закутин В.П., Голицин М.С., Шве́ц В.М. Актуальные проблемы изучения и оценки качества подземных питьевых вод // Водные ресурсы. – 2012. – Т. 39, № 5. – С. 485–495.
11. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Шве́ц В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, практические и экологические аспекты. – М.: ЦентрЛитНефтеГех, 2012. – 672 с.
12. Оценка влияния природных гидрогеохимических провинций на качество питьевых вод и здоровье населения (на примере Республики Дагестан) / Т.О. Абдулмуталимова, Л.М. Курбанова, А.Ш. Гусейнова, О.М. Рамазанов, Б.О. Маммаев // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2016. – № 66. – С. 231–235.
13. Воте́йко Л.Г. Селеновый статус и нарушения функции почек в условиях Забайкальской биогеохимической провинции // Экология человека. – 2007. – № 1. – С. 12–15.
14. Абрамкин А.В. К вопросу о биогеохимических провинциях и гигиенической оценке качества питьевой воды // Sciences of Europe. – 2016. – Т. 8, № 8–1. – С. 18–22.
15. Радон в подземных водах как источник риска для здоровья населения / М. Чаславскы, П. Данихелка, Л. Кржиж, И.С. Пашковский, Я. Суханкова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2010. – № 3. – С. 270–275.
16. Атлас Пермского края / под общей ред. А.М. Тартаковского. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. – 124 с.
17. Ширяева И.А., Попова Е.В. Тяжелые металлы в питьевых водах различных природных геохимических провинций Пермского края как факторы канцерогенного риска для здоровья населения // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. – 2014. – № 4. – С. 89–96.
18. Актуальные проблемы правовой и научно-методической поддержки обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации как стратегической государственной задачи / Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова, Г.Г. Онищенко, И.В. Май // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 5–9.
19. Шве́ц В.М., Крайнов С.Р. Региональные гидрогеохимические провинции нормируемых компонентов пресных питьевых подземных вод // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2014. – № 5. – С. 33–37.
20. Нейровегетативные дисфункции у детей, проживающих на территории с повышенным уровнем марганца в питьевой воде / О.А. Маклакова, О.Ю. Устинова, К.П. Лужецкий, А.С. Байдина, Д.Л. Мазунина, И.А. Пермяков, Л.В. Ошева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 3–6. – С. 1845–1849.

21. Темпы биологического созревания и особенности нарушений костно-мышечной системы у детей в условиях пероральной экспозиции стронция с питьевой водой / А.Ю. Вандышева, К.П. Лужецкий, О.Ю. Устинова, А.А. Щербатов // Здоровье населения и среда обитания. – 2015. – Т. 273, № 12. – С. 45–47.

Факторы и уровни риска здоровью населения при воздействии компонентов питьевых вод в границах природных гидрогеохимических провинций Пермского края / А.Н. Фоменко, В.А. Аристов, О.А. Маклакова, В.А. Хорославин // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 3. – С. 54–62. DOI: 10.21668/health.risk/2018.3.06

UDC 613,1; 614,7
DOI: 10.21668/health.risk/2018.3.06.eng



FACTORS AND POPULATION HEALTH RISKS UNDER EXPOSURE TO COMPONENTS DETECTED IN DRINKING WATER WITHIN NATURAL HYDROGEOCHEMICAL PROVINCES IN PERM REGION

A.N. Fomenko¹, V.A. Aristov², O.A. Maklakova², V.A. Khoroshavin³

¹Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Well-being, Perm Regional Office, 50 Kuybyisheva Str., Perm, 614016, Russian Federation

²Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm, 614990, Russian Federation

³Center for Hygiene and Epidemiology in Perm region, 50A Kuybyisheva Str., Perm, 614016, Russian Federation

Our research goal was to assess health risks for population who consumed drinking water with specific chemical structure systematically and for a long time. Drinking water quality is determined by conditions existing in hydrogeochemical provinces where rocks and soils contain increased concentrations of such hazardous metals as chromium, nickel, lead, manganese, and iron. We showed that low frequency or even absence of non-conformity to hygienic standards for admixtures in drinking water doesn't fully guarantee its safety in complicated hydrogeochemical conditions.

When certain carcinogenic admixtures (cadmium, chromium, nickel, arsenic, and lead) occur together in drinking water even in low concentrations, it can cause unacceptable population health risks. Drinking water taken in examined geochemical provinces in Perm region causes individual lifelong carcinogenic risk which is (under the worst exposure scenarios) equal to $4 \cdot 10^{-3}$. It can be ranked as De manifestis Risk and requires immediate measures to be taken by those responsible to reduce it. Unacceptable non-carcinogenic risks are caused by joint concentrations of arsenic, strontium, and some other compounds in drinking water. The highest risks existing on the examined territories were detected in relation to gastrointestinal tract diseases (HI up to 10.9, basic risk factor is chromium and its compounds), musculoskeletal system diseases (HI up to 11.8, strontium as a basic factor), and central nervous system diseases (HI up to 11.8, basic factors are arsenic, manganese, and lead). Contributions made by various elements into overall risks were different in different provinces.

In some cases, when a certain element occurs in the crust in hazardous concentrations, its contents in drinking water are not observed. We recommend organizations that deal with water supply and sanitary surveillance bodies to take into account peculiarities of a geochemical province and to include admixtures that are contained in the environment in high quantities into monitoring programs and laboratory research.

Key words: geochemical province, drinking water, chemical structure, safety, health risk.

© Fomenko A.N., Aristov V.A., Maklakova O.A., Khoroshavin V.A., 2018

Aleksandr N. Fomenko – Chief expert of Department for surveillance over communal hygiene (e-mail: fomienko_87@mail.ru; tel.: +7 (342) 239-34-80).

Vladislav A. Aristov – bachelor at Department for Human Ecology and Life Safety (e-mail: root@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04).

Ol'ga A. Maklakova – Associate Professor at Department for Human Ecology and Life Safety (e-mail: olga_mcl@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-27-92).

Viktor A. Khoroshavin – Doctor of Medical Sciences, Chief Physician (e-mail: cgepo@mail.ru; tel.: +7 (342) 239-34-09).

References

1. Ivleva I.A., Alekseev L.S., Boldin A.V. Bar'ernye funktsii tekhnologii podgotovki podzemnykh vod dlya khozyaistvenno-pit'evykh tselei [Barrier Functions of Ground Water Treatment Technologies for Domestic Purposes]. *Vodsnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2007, no. 9–2, pp. 33–40 (in Russian).
2. Chudnovskii S.M., Likhacheva O.I., Odintsov V.V. Optimizatsiya protsessov upravleniya traditsionnymi tekhnologiyami podgotovki pit'evoi vody [Conventional technologies of drinking water treatment: managerial processes optimization]. *Evraziiskii soyuz uchenykh*, 2015, vol. 14, no. 5–3, pp. 14–16 (in Russian).
3. Chernikov V.A., Yunusov Kh.B. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya presnykh vod i sovremennye effektivnye metody ee ochistki ot zagryaznenii [Assessment of ecological situation with fresh water and up-to-date efficient techniques for its purification from admixtures]. *AgroEkolInfo*, 2017, vol. 27, no. 1, pp. 7 (in Russian).
4. Nordstrom D.K. Worldwide occurrences of arsenic in ground water. *Public health. Science*, 2002, vol. 296, no. 5576, pp. 2143–2145.
5. Khorasanipour M., Esmaeilzadeh E. Geo-genic arsenic contamination in the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Kerman, Iran: Implications for the source identification and regional analysis. *Applied Geochemistry*, 2015, vol. 63, pp. 610–622.
6. Mukherjee A., Bhattacharya P., Savage K., Foster A., Bundschuh J. Distribution of geogenic arsenic in hydrologic systems: controls and challenges. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2008, vol. 99, no. 1–4, pp. 1–7.
7. Duz M.Z., Sagirdag M., Çelik K.S., Hasan M.A., Kiliç E. Geochemical multi-element ICP-OES analysis of borehole waters from SE Anatolia. *Atomic Spectroscopy*, 2016, vol. 37, no. 2, pp. 43–49.
8. S Ariunbileg., Gaskova O., Vladimirov A., Battushig A., Moroz E. Spatial distribution of uranium and metalloids in groundwater near sandstone-type uranium deposits, Southern Mongolia. *Geochemical Journal*, 2016, vol. 50, no. 5, pp. 393–401.
9. Chandio T.A., Khan M.N., Sarwar A. Fluoride estimation and its correlation with other physicochemical parameters in drinking water of some areas of Balochistan, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, vol. 187, no. 8, pp. 531.
10. Zakutin V.P., Golitsin M.S., Shvets V.M. Aktual'nye problemy izucheniya i otsenki kachestva podzemnykh pit'evykh vod [Current issues in the study and quality assessment of drinking groundwater]. *Vodnye resursy*, 2012, vol. 39, no. 5, pp. 485–495 (in Russian).
11. Krainov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prakticheskie i ekologicheskie aspekty [Geochemistry of underground waters. Theoretical, practical, and ecological aspects]. Moscow, TsentrLit-NefteGekh Publ., 2012, 672 p. (in Russian).
12. Abdulmutalimova T.O., Kurbanova L.M., Guseinova A.Sh., Ramazanov O.M., Mammaev B.O. Otsenka vliyaniya prirodnykh gidrogeokhimicheskikh provintsii na kachestvo pit'evykh vod i zdorov'e naseleniya (na primere Respubliki Dagestan) [Assessment of influence exerted by hydrogeochemical provinces on drinking water quality and population health (on the example of Dagestan)]. *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2016, no. 66, pp. 231–235 (in Russian).
13. Voteiko L.G. Selenovyi status i narusheniya funktsii pochek v usloviyakh Zabaikal'skoi biogeokhimicheskoi provintsii [Selenium status and kidney function disorders in conditions of Zabaikalje biogeochemical provinces]. *Ekologiya cheloveka*, 2007, no. 1, pp. 12–15 (in Russian).
14. Abramkin A.V. K voprosu o biogeokhimicheskikh provintsiyakh i gigenicheskoi otsenke kachestva pit'evoi vody [The question of biogeochemical provinces and hygienic drinking water quality assessment]. *Sciences of Europe*, 2016, vol. 8, no. 8–1, pp. 18–22 (in Russian).
15. Chaslavsky M., Danikhelka P., Krzhizh L., Pashkovskii I.S., Sukhankova Ya. Radon v podzemnykh vodakh kak istochnik riska dlya zdorov'ya naseleniya [Radon in ground water as a factor of risk for human health]. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2010, no. 3, pp. 270–275 (in Russian).
16. Atlas Permskogo kraia [Perm region atlas]. In: A.M. Tartakovskii, ed. Perm', Perm. gos. nats. issled. un-t Publ., 2012, 124 p. (in Russian).
17. Shiryaeva I.A., Popova E.V. Tyazhelye metally v pit'evykh vodakh razlichnykh prirodnykh geokhimicheskikh provintsii Permskogo kraia kak faktory kantserogennogo riska dlya zdorov'ya naseleniya [Heavy metals in drinking water on geochemical provinces in the Perm region as factors of carcinogenic risk to protect public health]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya*, 2014, no. 4, pp. 89–96 (in Russian).
18. Zaitseva N.V., Popova A.Yu., Onishchenko G.G., May I.V. Aktual'nye problemy pravovoi i nauchno-metodicheskoi podderzhki obespecheniya sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya Rossiiskoi Federatsii kak strategicheskoi gosudarstvennoi zadachi [Current problems of regulatory and scientific-medical support for the assurance of the sanitary and epidemiological welfare of population in the Russian Federation as the strategic government task]. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 5–9 (in Russian).
19. Shvets V.M., Krainov S.R. Regional'nye gidrogeokhimicheskie provintsii normiruemykh komponentov presnykh pit'evykh podzemnykh vod [Regional hydrogeochemical provinces of the normalized components of the fresh drinking groundwater]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka*, 2014, no. 5, pp. 33–37 (in Russian).
20. O Maklakova.A., Ustinova O.Yu., Luzhetskii K.P., Baidina A.S., Mazunina D.L., Permyakov I.A., Osheva L.V. Neurovegetativnye disfunktsii u detei, prozhivayushchikh na territorii s povyshennym urovnem margantsa v pit'evoi vode [Neurovegetative dysfunctions at children, living in the territory with the raised level of manganese in drinking water]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, vol. 15, no. 3–6, pp. 1845–1849 (in Russian).
21. Vandysheva A.Yu., Luzhetsky K.P., Ustinova O.Yu., Shcherbakov A.A. Tempy biologicheskogo sozrevaniya i osobennosti narushenii kostno-myshechnoi sistemy u detei v usloviyakh peroral'noi ekspozitsii strontsiya s pit'evoi vodoi [Rates of the biological maturation and particularities of violation of the locomotor system in children under conditions of oral exposure to strontium in drinking water]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2015, vol. 273, no. 12, pp. 45–47 (in Russian).

Fomenko A.N., Aristov V.A., Maklakova O.A., Khoroshavin V.A. Factors and population health risks under exposure to components detected in drinking water within natural hydrogeochemical provinces in Perm region. *Health Risk Analysis*, 2018, no. 3, pp. 54–62. DOI: 10.21668/health.risk/2018.3.06.eng

Получена: 16.08.2018

Принята: 21.09.2018

Опубликована: 30.09.2018