

Комплексная оценка качества подземных водных источников на территории города Хабаровска

А.И. Андреев, профессор, д-р техн. наук¹,

Л.М. Кондратьева, главный научный сотрудник, профессор, д-р биол. наук²

¹ Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск

² Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

e-mail: bgd@festu.khv.ru

Ключевые слова:

подземные воды,
радон,
микробиологические показатели,
ионы тяжелых металлов.

При загрязнении поверхностных водных объектов максимальную гарантию безопасности снабжения городского населения питьевой водой могут обеспечивать системы, базирующиеся на подземных водах. В условиях чрезвычайной ситуации для водоснабжения используются все ресурсы подземных вод, в том числе мелкие водозаборы и одиночные эксплуатационные скважины. В статье рассматриваются результаты комплексных исследований качества питьевой воды в скважинах, расположенных на территории города Хабаровска с различной антропогенной нагрузкой. Впервые для определения потенциальных рисков проведен мониторинг качества питьевой воды по объемной активности радона, представлена оценка сезонного изменения ее качества по микробиологическим показателям и содержанию ионов тяжелых металлов.

1. Введение

В Приамурье важное место отводится своевременному прогнозированию и выявлению возможных экологических угроз на трансграничном участке р. Амур, включая оценку экологического риска при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС), в том числе при загрязнении поверхностных водных источников в результате техногенных аварий и экстремальных природных явлений [1, 2]. В условиях чрезвычайных ситуаций комплекс мероприятий направлен на создание условий, минимально необходимых для сохранения жизни и поддержания здоровья людей. Прежде всего это относится к обеспечению населения водой, продовольствием, предметами первой необходимости, жильём, медицинскими услугами [3].

Наибольшую гарантию безопасности снабжения водой обеспечивают системы, базирующиеся на подземных водах [4]. В условиях ЧС для хозяйственно-питьевого водоснабжения используются все ресурсы подземных вод, в том числе мелкие водозаборы и одиночные эксплуатационные скважины. Мониторинг подземных вод включает регулярные наблюдения за изменением их состояния под воздействием природных и техногенных факторов. Перечень ком-

понентов качественного состава подземных вод устанавливается индивидуально для каждого региона. Пробы воды могут отбираться на специфические показатели: радиоактивность, ядохимикаты, тяжелые металлы и другие вещества и параметры.

К важным факторам риска для здоровья населения относится радиоактивность воды, связанная с наличием радона и продуктов его распада. Источником радона в подземных водах являются горные породы, содержащие радиоактивные элементы. Концентрация радона зависит от состава, пористости горных пород, коэффициента эманации и скорости движения воды (расхода потока). Рыхлые или трещиноватые породы характеризуются повышенной концентрацией радона (зоны тектонических нарушений, кора выветривания). Главной предпосылкой появления радона в воде является присутствие урана в почве и горных породах [5]. Опасность для здоровья человека представляют короткоживущие продукты распада радона, способные оказывать негативное воздействие на ДНК клеток различных тканей, провоцируя онкологические заболевания легких и желудка [6]. Климатические факторы — атмосферное давление и количество осадков — могут влиять

на концентрацию радона в подземных водах в течение долгого времени [7].

Подземные воды трещиноватых массивов кислых кристаллических пород обычно отличаются наиболее высокой концентрацией радона, достигающей 500 Бк/л и выше. Трещинные воды известняков, песчаников, сланцев обычно имеют концентрацию радона в пределах 10–100 Бк/л. Однако в отдельных случаях и в этих породах могут встречаться повышенные концентрации радона. Содержание радона в подземных водах связано с риском его перехода в воздух помещений и последующего ингаляционного поступления радона и его дочерних продуктов в организм человека. В поверхностных водах концентрация радона не превышает 2–5 Бк/л. В Российской Федерации нормами радиационной безопасности установлен уровень содержания радона в питьевой воде 60 Бк/л [8, 9].

Показатели нормирования радона в питьевой воде отличаются в разных странах. Так, Европейская комиссия и Всемирная организация здравоохранения рекомендуют допустимую концентрацию радона в питьевой воде до 100 Бк/л. Американское агентство по охране окружающей среды предлагает ограничивать потребление воды с содержанием радона выше 11 Бк/л. Многочисленные исследования, проведенные в разных регионах мира, свидетельствуют о значительных вариациях концентрации радона в локальных водных источниках [10].

Для оценки состояния водного источника и уровня его самоочищающей способности при загрязнении поллютантами разного строения и происхождения используют микробиологические методы контроля качества воды. Количество микроорганизмов в природных водах зависит от различных факторов, в том числе от концентрации растворенных органических веществ (ОВ), сезона года, степени загрязнения хозяйственными и промышленными водами, содержания растворенного кислорода, ионного состава и присутствия разнообразных элементов. Изменение концентрации ОВ, температуры воды, загрязнение микропримесями токсичных элементов водоносных горизонтов приводит к существенному изменению численности гетеротрофных бактерий, ответственных за трансформацию ОВ [11]. Микроорганизмы играют важную роль в биогеохимических процессах в подземных водах, включая растворение/осаждение ионов железа, марганца, кальция и других элементов [12].

Протяженность территории города Хабаровска вдоль реки Амур составляет более 50 км и характеризуется значительной сложностью и разнообразием геологического строения и условий залегания горных пород различного возраста и происхождения. На освоенной территории на глубине от 3 до 35 м

обнаружены линзы бурых углей и угленосные отложения. Одной из разновидностей техногенных отложений в Хабаровске являются золоотвалы, которые выступают источниками загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и радиоактивными элементами. Мощность золоотвалов достигает 7–10 м, их площадь до 220 га [13].

Территория Хабаровска находится в границах Средне-Амурского артезианского бассейна. Основные ресурсы пресных подземных вод региона сосредоточены в межгорных артезианских, гидрогеологических вулканогенных бассейнах, среди трещинно-карстовых подземных вод, в потоках грунтовых аллювиальных вод и в зонах разрывных нарушений гидрогеологических структур трещинных и трещинно-жильных вод [14]. Мощность зоны приповерхностной трещиноватости связана с составом пород, рельефом местности и составляет от 30 до 300 м и более. Основными путями движения подземных вод в этих структурах служат раскрытые зоны растяжения тектонических нарушений, проникающие на глубину несколько километров [15].

Достоверность оценки риска для здоровья населения на каждый конкретный момент времени относительно, поэтому все подходы к поиску приемлемого экологического риска нуждаются в систематической корректировке с учетом достижений фундаментальной науки, а также опыта преодоления чрезвычайных ситуаций в различных регионах [1]. На фоне разнообразных антропогенных воздействий и сезонных природных факторов качество поверхностных и подземных вод может существенно изменяться. Поэтому важно правильно выбрать показатели их состояния. Отдельные природные факторы имеют различные темпы и степень изменчивости. Наиболее мобильные и опасные из них — радиационный фактор, гидротермические и биогеохимические процессы, включающие трансформацию органических веществ различного генезиса.

В наших исследованиях мы впервые использовали комплексный подход при оценке сезонного качества питьевой воды из подземных источников по таким важным критериям, как объемная активность радона, численность индикаторных групп гетеротрофных бактерий и содержание ионов тяжелых металлов.

2. Объекты и методы исследования

Пробы воды из подземных источников отбирали в течение 2013–2015 гг. в разных районах города Хабаровска, отличающихся геологическими условиями и характером антропогенного воздействия на природные системы.

Пункт № 1. Подземный источник (Северный микрорайон), расположенный на склоне оврага на тер-

ритории городского парка. Вода выходит на поверхность через трубу диаметром 22 мм, истечение воды слабое — дебет 0,05 л/с, активно используется населением как источник питьевой воды и для хозяйственных нужд. Источник воды замерзает в период с конца декабря по апрель.

Пункт № 2. Одинокная скважина (ул. Большая, 108), вода выходит на поверхность через трубу диаметром около 20 мм. Забой скважины находится на глубине около 9 м. Расположение трубы горизонтальное на высоте около 60 см от поверхности земли. Истечение воды слабое — дебет 0,04 л/с. Скважина находится рядом с автомобильной дорогой во дворе двухэтажного жилого дома постройки 1930-х годов, между хозяйственными постройками и гаражным кооперативом. Источник воды зимой не замерзает, вода из него используется населением для питьевых и хозяйственно-бытовых нужд.

Пункт № 3. Типовая водозаборная колонка (ул. Большая, 82), подключена к городской водопроводной сети и расположена на расстоянии около 2 м от городской транспортной магистрали.

Пункт № 4. Одинокная скважина находится в промышленной зоне г. Хабаровска (Южный микрорайон). Забой скважины находится на глубине 140 м. Вода на поверхность подается с помощью электрического насоса. Отбор пробы воды осуществляется через специальную врезку в трубу. Регулирование подачи воды происходит с помощью крана. Вода используется промышленным предприятием для хозяйственных нужд.

Расстояние между точками отбора 1 и 2 по прямой составляет около 4 км, между точками отбора 2 и 3 — около 0,5 км, а между точками 3 и 4 — более 13 км.

Для определения объемной активности радона (ОАР) пробы воды отбирали один раз в неделю в пробирку объемом 0,046 л по методике, изложенной в [8]. Анализ отобранных проб проводили в лаборатории Дальневосточного университета путей сообщения с помощью радиометра радона РРА-01М-03. Объемную активность радона в подземном источнике рассчитывали по формуле из [8]:

$$Q_n = \{Q [\alpha + (V_1 / V_2)] - [Q_\phi (V_1 / V_2)]\} \exp(\lambda t), \quad (1)$$

где: Q_n — объемная активность радона в воде, Бк/л; Q — объемная активность радона (среднее значение по пяти пробам в каждой из точек отбора), Бк/л; α — коэффициент растворимости радона в воде; V_1 — объем отобранной пробы воды в пробоотборник, л; V_2 — объем измерительной камеры радиометра, л; Q_ϕ — фон радиометра, Бк/м³; λ — постоянная распада радона, мин⁻¹; t — время от окончания отбора пробы воды до начала измерений, мин.

Анализ содержания ионов тяжелых металлов в пробах воды проводили в лаборатории Хабаровского инновационно-аналитического центра при Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН (ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН). Пробы исследовали методом Total Quant на ICP-MS фирмы Perkin Elmer (США) по стандартным методикам.

Микробиологические анализы проводили в лаборатории Института водных и экологических проблем ДВО РАН. Для микробиологической оценки качества воды из источников пробы отбирали в стерильные сосуды объемом 250 мл. В качестве микробиологических показателей использовали численность культивируемых гетеротрофных бактерий (КГБ), отражающих характер загрязнения подземных вод ОВ различного генезиса. Культивирование проводили на разбавленном в 10 раз рыбо-пептонном агаре в течение 7 суток при температуре 20–23 °С. Для определения вероятности загрязнения воды ароматическими соединениями использовали агаризованную среду, содержащую 1 г/л фенола, которую используют для выявления фенолрезистентных бактерий. Численность бактерий выражали в колониеобразующих единицах в 1 мл воды (КОЕ/мл) [11].

3. Результаты исследований и их обсуждение

Радон является одним из промежуточных продуктов радиоактивного распада ²³⁸U и образуется из радия (²²⁶Ra). Изотопы радона растворимы в воде и других жидкостях. Количество радона, накапливающегося из радия, рассчитывают из соотношения в [16]:

$$Q_{Rn} = Q_{Ra} [1 - \exp(-\lambda_{Rn} t)], \quad (2)$$

где: Q_{Rn} — активность радона, Ки; Q_{Ra} — количество радия, гр; λ_{Rn} — постоянная распада радона; t — время, в течение которого происходит накопление радона.

Коэффициент растворимости радона в воде является функцией температуры окружающей среды и изменяется согласно формуле из [16]:

$$\alpha = 0,1057 + 0,405 \exp(-0,0502 t^\circ), \quad (3)$$

где t° — температура окружающей среды, °С.

Из формулы (1) видно, что на величину ОАР радона в воде оказывает влияние растворимость радона в воде, которая зависит от температуры окружающей среды [17]. Характерная динамика ОАР в воде в течение года показана на рис. 1, а значения среднегодовой ОАР в воде в точках отбора представлены в табл. 1.

За период проведения исследований отмечали уменьшение ОАР в воде в пункте наблюдений № 1

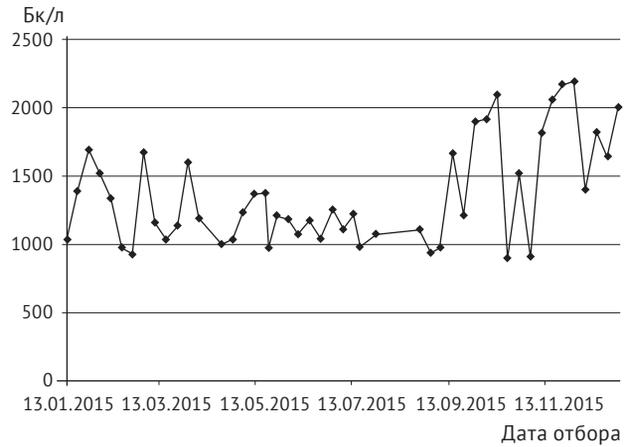
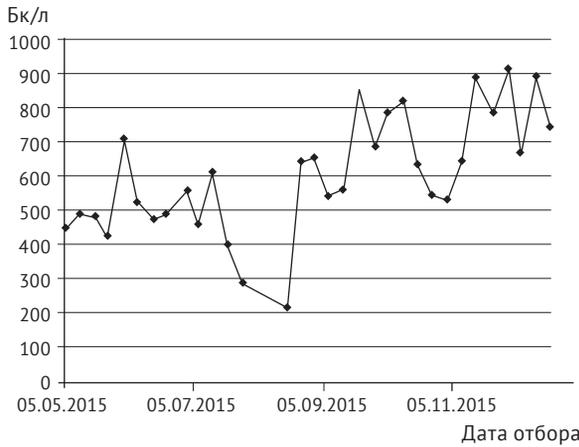


Рис. 1. Объемная активность радона в воде в пунктах № 1 (слева) и № 2 (справа) в 2015 г.

(рис. 1) в интервале июнь–сентябрь 2015 г. с минимумом в августе, когда в Хабаровске выпадает наибольшее количество осадков. Уменьшение ОАР в воде может быть связано с особенностями формирования подземного источника при поступлении поверхностных вод.

Как следует из табл. 1, среднегодовое содержание радона в пробах воды, отобранных в разных районах г. Хабаровска, отличается в 2–3 раза. Такое изменение можно объяснить различной геологической структурой вмещающих пород, в частности, расположением забоев скважин точек отбора 2 и 4 в месте слабо дислоцированных угленосных отложений и, следовательно, с повышенным по сравнению со средними значениями содержанием урана во вмещающих породах.

Для корректной интерпретации наличия радона в пробах воды, отобранных из городской водопроводной сети, в концентрациях, превышающих уровень вмешательства более чем в 4 раза, необходимо проводить специальные исследования, которые должны включать сравнительный анализ данных по воде, поступающей в водопроводную сеть, и данных по мониторингу радона в узловых точках водопроводной сети.

В условиях ЧС ориентировочная потребность в воде для хозяйственно-питьевых и специальных нужд может быть определена из расчета 10 л в сутки на одного человека. При таком или минимальном

уровне потребления воды средняя годовая эффективная доза внутреннего облучения за счёт радона не будет превышать 2,38 мЗв (пункт отбора воды № 4) при этом риск возникновения злокачественных новообразований будет составлять $1,3 \cdot 10^{-4}$.

В осенний период качество воды в подземном источнике пункта отбора № 1 напоминает некоторые пробы из поверхностных водотоков, подверженных загрязнению ОВ (табл. 2). К началу зимы, согласно численности гетеротрофных бактерий (ГБ), качество воды улучшалось, в связи с началом заморозков и прекращением поступления ОВ с поверхностным стоком. Весной и в начале летнего сезона качество воды в этом источнике характерно для поверхностных водоносных горизонтов подземных вод, загрязненных азотсодержащими ОВ. Как правило, в весенний период с поверхностным стоком поступают талые воды, загрязненные ОВ различного строения. Кроме бактерий, принимающих участие в цикле азота, в воде присутствовали фенолрезистентные бактерии (280 КОЕ/мл), которые выступают индикаторами загрязнения воды и почв ароматическими углеводородами, чаще всего нефтепродуктами.

Таблица 2
Численность гетеротрофных бактерий (КОЕ/мл) в подземных водных источниках на территории г. Хабаровска

Дата	Пункт		
	№ 1	№ 2	№ 3
29.10.2013	940	0	0
12.11.2013	310	0	0
03.12.2013	140	0	50
12.05.2014	1020	30	0
26.06.2014	930	60	120
14.10.2014	130	0	60
28.05.2015	750	580	90
02.07.2015	670	370	140

Таблица 1
Среднегодовая объемная активность радона в воде, Бк/л

Год	Пункт			
	1	2	3	4
2013	546 ± 163	988 ± 296	–	–
2014	504 ± 151	1211 ± 363	–	1462 ± 439
2015	608 ± 184	1354 ± 406	237 ± 71	1881 ± 564

Примечание. Прочерк в таблице означает, что в данном году отбор проб для анализа не проводили.

Согласно результатам микробиологического анализа в осенний период 2013 г. в пункте № 2 микроорганизмы, характеризующие загрязнение азотсодержащими и фенольными соединениями, полностью отсутствовали. Однако весной 2014 г. в этом подземном водном источнике обнаружена достаточно высокая численность фенолрезистентных бактерий (1640 КОЕ/мл). Возможно, это было связано с хроническим загрязнением территории в зимний период нефтепродуктами и их поступлением с тальми водами в подземный водоносный горизонт. В весенний период 2015 г. в этой скважине присутствовали только ГБ (580 КОЕ/мл). Летом качество воды улучшалось по микробиологическим показателям, в пробе были обнаружены в основном почвенные спорообразующие представители рода *Bacillus*. Ухудшение качества воды в пункте отбора № 2 в весенне-летний период 2015 г., когда численность ГБ составляла 580 и 370 КОЕ/мл, можно объяснить благоустройством территории.

В отличие от указанных выше проб, качество воды в пункте наблюдения № 3 чаще всего было высоким. В осеннее-зимний период в 2013–2015 гг. численность ГБ составляла 50–60 КОЕ/мл. Только летом 2015 г. в этом источнике было зафиксировано максимальное количество ГБ — 140 КОЕ/мл. В других источниках их численность была в 2–4 раза выше.

Впервые в октябре 2014 г. были проведены исследования качества подземных вод в пункте наблюдений № 4. По всем индикаторным группам бактерий эти пробы воды можно считать интенсивно загрязненными ОВ, так как общая численность ГБ была максимальной и составляла 7530 КОЕ/мл и ранее нигде в анализированных грунтовых водах не отмечалась. Это может быть связано с прошедшим в 2013 г. паводком, затоплением низинных участков в Южном микрорайоне и поступлением ОВ в грунтовые воды. В последующие периоды 2015 г. независимо от времени отбора проб численность ГБ составляла 230–250 КОЕ/мл.

Анализ элементного состава воды в подземных источниках г. Хабаровска показал, что содержание многих элементов варьирует в широких пределах, в зависимости от времени отбора проб. Так, в летний период 2015 г. в воде из пункта наблюдений № 2 были установлены повышенные концентрации Mn, Fe, Cu

и Pb (табл. 3, 4). В зимний период в этом пункте отбора проб воды отмечали ртутное загрязнение. Независимо от сезона в скважине регистрировали превышение ПДК по марганцу.

Содержание перечисленных элементов в подземном источнике в пункте наблюдений № 1 было ниже. Ртуть в пробах воды не определяли в пределах точности методики (<0,001), однако в них присутствовал свинец. Кроме того, в летний период в воде были определены высокие концентрации других элементов, включая ванадий, кобальт, никель, мышьяк и бериллий. В начале летнего периода резко увеличивалось содержание железа, фактически в 10 раз. Это можно объяснить двумя процессами: при оттаивании поверхностного слоя водоносного горизонта качество воды стало определяться поступлением железосодержащих подземных вод; переход гидрата окиси железа в растворенное состояние при трансформации поступающих органических веществ железоредуцирующими бактериями. Однако в этом источнике по сравнению с зимним периодом существенно снижалась концентрация ионов меди и цинка.

Характерные различия в элементном составе водных источников были зарегистрированы в конце весеннего периода (табл. 5) в разных зонах города. Наиболее выраженные повышенные концентрации меди, цинка и свинца были обнаружены в водном источнике, расположенном в промышленной зоне. В колонке, имеющей непосредственную связь с городской водопроводной сетью (пункт отбора № 3), были зарегистрированы повышенные концентрации алюминия и цинка, но минимальная концентрация марганца.

Ученые во всем мире фокусируют внимание на загрязнении поверхностных и грунтовых вод тяжелыми металлами (ТМ). Выветривание горных пород и антропогенная деятельность считаются основными источниками накопления ТМ в водных системах. Тяжелые металлы, накапливаясь в трофических цепях, вызывают различные токсикологические эффекты у разных групп организмов, включая человека [18, 19]. Избыточное количество таких металлов, как Cd, Pb, Mn и Cr, может быть смертельно опасно для человека и водных организмов. Например, марганец является важным активатором ферментов в организме. Однако чрез-

Таблица 3
Сезонное изменение элементного состава воды (мкг/дм³)
в пункте отбора № 1

Дата	Химический элемент						
	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Hg	Pb
12.2013	<0,001	<0,001	1,78	13,44	1,00	<0,001	0,65
05.2015	22,33	66,38	187,90	0,05	1,94	<0,001	0,90

Таблица 4
Сезонное изменение элементного состава воды (мкг/дм³)
в пункте отбора № 2

Дата	Химический элемент						
	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Hg	Pb
12.2013	20,8	45,07	61,71	<0,001	1,28	0,01	<0,001
05.2015	9,29	691,11	291,66	0,22	3,58	<0,001	0,46

Таблица 5

Элементный состав воды в подземных водных источниках на 29.05.2015 (мкг/дм³)

Пункт	Химический элемент						
	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Hg	Pb
1	22,33	66,38	187,90	0,05	1,94	<0,001	0,90
2	9,29	691,11	291,66	0,22	3,58	<0,001	0,46
3	16,67	12,20	116,51	<0,001	15,30	<0,001	0,64
4	9,52	58,83	281,65	1,66	27,37	<0,001	4,25

мерный пероральный прием ионов Mn и Cu приводит к расстройству нервной системы, они вредны для мозга и могут вызвать такие заболевания, как болезнь Альцгеймера. Избыток марганца в питьевой воде влияет на развитие мозговых функций ребенка в возрасте до 10 лет [20]. Свинец также чрезвычайно ядовитый металл и длительный источник риска для здоровья человека, вызывает головную боль, раздражительность, анемию, потерю аппетита, судороги, повреждение мозга, печени, почек, рак легких и желудка [21].

Известно, что марганец, кобальт, медь и мышьяк отражают характер загрязнения почв в зоне воздействия угледобывающей промышленности и городских котельных, работающих на угле. Потому эти элементы повсеместно вносят основной вклад в суммарный коэффициент опасности загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [22]. Близость частного сектора с печным отоплением к пункту отбора проб № 2 нашла отражение в повышенном содержании меди и кобальта. Однако высокие концентрации марганца и железа можно объяснить отбором проб воды из водоносного горизонта, характерного для железо- и марганецсодержащих подземных вод региона.

Отдельно следует отметить присутствие в исследованных образцах воды урана и стронция. В трех пунктах отбора проб воды, за исключением пункта отбора № 3, в летний период было зарегистрировано повышенное содержание стронция, с максимумом в пункте отбора № 2 и в промышленной зоне (471,26 и 456,69 мкг/дм³, соответственно). В отличие от пункта отбора проб воды № 4 (промышленная зона), в пункте отбора № 2 было установлено максимальное содержание урана (0,40 мкг/дм³), оно превышало содержание этого элемента в воде промышленной зоны в 40 раз. Важно подчеркнуть, что в зимний период высокие концентрации стронция и урана также были установлены в пункте отбора № 2: в декабре 2013 г. 373,8 мкг/дм³ и 0,51 мкг/дм³, соответственно; в январе 2016 г. в пробе воды из этой скважины было подтверждено повышенное содержание стронция (381 мкг/дм³) и урана (0,34 мкг/дм³). За весь период наблюдений в пункте отбора № 3, имеющим связь с водопроводной сетью, уран не обнаруживали в пределах точности из-

мерения (<0,001 мкг/дм³). Эти данные свидетельствуют о том, что подземные источники воды на городской территории нельзя считать защищенными от загрязнения ионами тяжелых металлов и радиоактивными элементами, включая предшественники радона.

4. Заключение

Согласно проведенным исследованиям, было показано, что качество воды в подземных источниках на территории г. Хабаровска может существенно изменяться по сезонам и по разным показателям. Для безопасного водоснабжения и предотвращения ущерба здоровью населения необходимо регулярно проводить комплексные исследования подземных источников водоснабжения. Важно провести инвентаризацию подземных источников водоснабжения и обратить внимание на обеспеченность качественной водой населения г. Хабаровска, не пользующегося централизованным водоснабжением.

Важное место в загрязнении подземных источников на территории г. Хабаровска занимает сезонное поступление органических веществ различного строения с поверхностным стоком. Это приводит к развитию микробных комплексов, изменяющих органолептические свойства воды за счет продуктов метаболизма. Высокой численностью гетеротрофных бактерий, участвующих в трансформации органических веществ, отличался водный источник, расположенный в Северном микрорайоне, который население считает очень чистым. В нем также периодически определяли высокие концентрации тяжелых металлов, включая ванадий, кобальт, никель, мышьяк, бериллий и свинец.

Результаты комплексных исследований показали, что в пробах воды из подземных источников, отобранных в различных районах г. Хабаровска, присутствует радон. В случае длительного использования воды из этих источников, например, в условиях ЧС даже при минимальном потреблении воды, среднегодовая эффективная доза внутреннего облучения может существенно превышать среднемировой уровень внутреннего облучения за счет природных радионуклидов, которые поступают в организм с продуктами питания и питьевой водой. Для минимизации последствий внутреннего облучения за счет радона заблаговременно, до наступления ЧС, необходимо проводить исследования подземных источников водоснабжения с целью выработать обоснованные рекомендации по порядку использования источников и поведению населения в условиях ЧС. Исследования должны включать сравнительный анализ данных по содержанию радона в воде, поступающей в водопроводную сеть, и данных по мониторингу радона в узловых точках водопроводной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьева Л.М. Вопросы экологической безопасности в Приамурье: выбор приоритетов // Вестник ДВО РАН. 2005. № 5. С. 149–161.
2. Рапопорт В.Л., Кондратьева Л.М. Загрязнение реки Амур антропогенными и природными органическими веществами // Сибирский экологический журнал. 2008. № 3. С. 485–496.
3. Акимов В.А., Воробьев Ю.Л., Фалеев М.И. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. — М.: Высш. шк., 2006. 592 с
4. Виноградов С.Д. Водоснабжение — одна из важнейших задач первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. № 2 (3), с. 533–537.
5. Ramola R.C., Negi M.S., Choubey V.M. Radon and thoron monitoring in the environment of Kumaun Himalayas: survey and outcomes// J. of Environmental Radioactivity, 2005. n. 79. P. 85–92.
6. Kandari T., Aswal S., Prasad M., Bourai A.A., Ramola R.C. Estimation of annual effective dose from radon concentration along Main Boundary Thrust (MBT) in Garhwal Himalaya// J. of Radiation Research and Applied Sciences, 2016, n. 9. P. 228–233.
7. Otton J.K. 1992. The geology of radon: U.S. Geological Survey, General Interest Publications of the U.S. Geological Survey, 28 p.
8. Андреев А.И., Чекунаев В.В. Экспериментальные исследования содержания радона в воде из подземного источника // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2012. № 3 (26), с. 123–130.
9. Андреев А.И., Кондратьева Л.М., Штарева А.В. Оценка качества воды из разных источников на территории города Хабаровска // Экология и безопасность жизнедеятельности города: проблемы и решения: материалы 5-й Всерос. науч. — практ. конф. с междунар. участием, 23–24 августа 2016 г. / под ред. проф. С.А. Кудрявцева, проф. Л.И. Никитиной. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2016. С. 41–45.
10. Mittal S., Rani A., Mehra R. Estimation of radon concentration in soil and groundwater samples of Northern Rajasthan, India // J. of Radiation Research and Applied Sciences, 2016, n. 9. P. 125–130.
11. Микроорганизмы в экосистемах Приамурья / Под ред. Л.М. Кондратьевой. — Владивосток: Дальнаука, 2000. 198 с.
12. Кулаков В.В., Кондратьева Л.М. Биогеохимические аспекты очистки подземных вод Приамурья // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27, № 1. С. 109–118.
13. Подгорная Т.И. Оценка природных условий территории для градостроительства. — Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2007. — 135 с.
14. Караванов К.П. Подземные воды как природный ресурс при решении проблемы устойчивого развития Приамурья. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 1996. 40 с.
15. Кулаков В.В. Геохимия подземных вод Приамурья. — Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. 254 с.
16. Польский О.Г., Соболев И.А. Радон, окружающая среда и население. — М.: ПРИМА, 1995. 106 с.
17. Горнов П.Ю., Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Подгорная В.Я. Геотермические разрезы земной коры области сочленения Центрально-азиатского и Тихоокеанского поясов и смежных платформ // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 5, с. 630–647.
18. Jarup L. Hazards of heavy metal contamination// British Medical Bulletin, 2003, № 68. P. 167–182.
19. Muhammad S., Shah M.T., Khan S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, Northern Pakistan// Microchemical Journal, 2011, № 98. P. 334–343.
20. Dieter H.H., Bayer T.A., Multhaup G. Environmental copper and manganese in the pathophysiology of neurologic diseases (Alzheimer's disease and Manganism) // Acta Hydroch Hydrob 33 (2005) 72–78.
21. Venkatesh T. The effects of environmental lead on human health challenging scenario. Environmental Health Focus, 2004, № 2. P. 8–16.
22. Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Тарасова Н.П., Осипов К.Ю. Тяжелые металлы в почвах в районах воздействия угольных предприятий и их влияние на здоровье населения // Безопасность в техносфере. 2015. № 2, с. 16–26.

REFERENCES

1. Kondrat'eva L.M. Voprosy ekologicheskoy bezopasnosti v Priamur'e: vybor prioritetov [Questions of environmental security in the Amur region: the choice of priorities]. *Vestnik DVO RAN* [Vestnik FEB RAS]. 2005, I. 5, pp. 149–161 (in Russian).
2. Rapoport V.L., Kondrat'eva L.M. Zagryaznenie reki Amur antropogennymi i prirodnyimi organicheskimi veshchestvami [Pollution of the Amur River anthropogenic and natural organic substances]. *Sibirskiy ekologicheskii zhurnal* [Siberian Journal of Ecology]. 2008, I. 3, pp. 485–496 (in Russian).
3. Akimov V.A., Vorob'ev Yu.L., Faleev M.I. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh prirodnogo i tekhnogenogo kharaktera* [Health and Safety. Safety in emergencies of natural and technogenic character]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2006. 592 p. (in Russian).
4. Vinogradov S.D. Vodosnabzhenie — odna iz vazhneyshikh zadach pervoocherednogo zhizneobespecheniya naseleniya v chrezvychaynykh situatsiyakh [Water — one of the most important tasks of priority livelihoods in emergencies]. *Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya* [Civil Protection Strategy: Issues and research]. 2013, I. 2 (3), pp. 533–537 (in Russian).
5. Ramola R.C., Negi M.S., Choubey V.M. Radon and thoron monitoring in the environment of Kumaun Himalayas: survey and outcomes// J. of Environmental Radioactivity, 2005. n. 79. P. 85–92.
6. Kandari T., Aswal S., Prasad M., Bourai A.A., Ramola R.C. Estimation of annual effective dose from radon

- concentration along Main Boundary Thrust (MBT) in Garhwal Himalaya// J. of Radiation Research and Applied Sciences, 2016, n. 9. P. 228–233.
7. Otton J.K. 1992. The geology of radon: U.S. Geological Survey, General Interest Publications of the U.S. Geological Survey, 28 p.
 8. Andreev A.I., Chekunaev V.V. Eksperimental'nye issledovaniya soderzhaniya radona v vode iz podzemnogo istochnika [Experimental studies of radon content in water from an underground source]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Pacific State University]. 2012, I. 3 (26), pp. 123–130 (in Russian).
 9. Andreev A.I., Kondrat'eva L.M., Shtareva A.V. Otsenka kachestva vody iz raznykh istochnikov na territorii goroda Khabarovska [Water quality assessment of different sources in the city of Khabarovsk]. *Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti goroda: problemy i resheniya: matreilady 5-y Vseros.nauch. — prakt.konf. s mezhdunar. uchastiem, 23–24 avgusta 2016 g.* [Ecology and safety of city life: problems and solutions: matreilady 5th Vseros.nauch. — practical conference. with int. participation, on August 23–24, 2016]. Khabarovsk, DVGUPS Publ., 2016, pp. 41–45 (in Russian).
 10. Mittal S., Rani A., Mehra R. Estimation of radon concentration in soil and groundwater samples of Northern Rajasthan, India // J. of Radiation Research and Applied Sciences, 2016, n. 9. P. 125–130.
 11. *Mikroorganizmy v ekosistemakh Priamur'ya* [Microorganisms in the ecosystems of the Amur region]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2000. 198 p. (in Russian).
 12. Kulakov V.V., Kondrat'eva L.M. Biogeokhimicheskie aspekty oчитki podzemnykh vod Priamur'ya [Biogeochemical aspects of cleaning groundwater Priamurja]. *Tikhookeanskaya geologiya* [Pacific Geology]. 2008, V. 27, I. 1, pp. 109–118. (in Russian).
 13. Podgornaya T.I. *Otsenka prirodnykh usloviy territorii dlya gradostroitel'stva* [Assessment of natural conditions for urban development]. Khabarovsk, TOGU Publ., 2007. 135 p. (in Russian).
 14. Karavanov K.P. *Podzemnye vody kak prirodnyy resurs pri reshenii problemy ustoychivogo razvitiya Priamur'ya* [Ground water as a natural resource in solving the problems of sustainable development of the Amur region]. Khabarovsk, IVEP DVO RAN Publ., 1996. 40 p. (in Russian).
 15. Kulakov V.V. *Geokhimiya podzemnykh vod Priamur'ya* [Geochemistry of groundwater Amur region]. Khabarovsk, IVEP DVO RAN Publ., 2011, 254 p. (in Russian).
 16. Pol'skii O.G., Sobolev I.A. *Radon, okruzhayushchaya sreda i naselenie* [Radon, the environment and the population]. Moscow, PRIMA Publ., 1995, 106 p. (in Russian).
 17. Gornov P. Yu. Goroshko M.V., Malyshev Yu.F., Podgornaya V. Ya. Geotermicheskie razrezy zemnoy kory oblasti sochleneniya Tsentral'no-aziatskogo i Tikhookeanskogo pojasov i smezhnykh platform [Geothermal sections of the crust of the junction area of the Central Asian and Pacific belts and related platforms]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics]. 2009, V. 50, I. 5, pp. 630–647 (in Russian).
 18. Jarup L. Hazards of heavy metal contamination// *British Medical Bulletin*, 2003, № 68.R. 167–182.
 19. Muhammad S., Shah M.T., Khan S. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, Northern Pakistan// *Microchemical Journal*, 2011, № 98. R. 334–343.
 20. Dieter H.H., Bayer T.A., Multhaup G. Environmental copper and manganese in the pathophysiology of neurologic diseases (Alzheimer's disease and Manganism)// *Acta Hydroch Hydrob* 33 (2005) 72–78.
 21. Venkatesh T. The effects of environmental lead on human health challenging scenario, *Environmental Health Focus*, 2004, № 2. R. 8–16.
 22. Osipova N.A., Yazikov E.G., Tarasova N.P., Osipov K. Yu. Tya-zhelye metally v pochvakh v rayonakh vozdeystviya ugol'nykh predpriyatii i ikh vliyanie na zdorov'e naseleniya [Heavy metals in soils in the areas of influence of the coal enterprises and their impact on public health]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere]. 2015, I. 2, pp. 16–26. (in Russian).

Complex Assessment of Underground Water Sources' Quality in Khabarovsk City Territory

A.I. Andreev, Doctor of Engineering, Professor, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk

L.M. Kondratieva, Doctor of Biology, Professor, Chief Researcher, Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk

In case of water bodies' surface contamination the water supply systems based on underground sources could supply of fresh water to the urban population with maximum guaranteed safety. In emergency the entire resource of underground water sources is used, including shallow water intakes and individual wells. The results of the complex research for the quality of fresh water taken from wells located in Khabarovsk city districts with different anthropogenic charge levels are considered in this paper. For the first time the fresh water quality monitoring aimed to potential risks estimation was held using the indicators of radon's volumetric activity. The assessment for a seasonal variation of the fresh water quality by the microbiological indicators and the heavy metals ions quantity has been presented.

Keywords: underground water, radon, microbiological indicators, heavy metals ions.