

Содержание изотопов урана в подземных источниках водоснабжения населения Ленинградской области и Санкт-Петербурга

М.В. Кадука¹, Л.Н. Басалаева¹, Т.А. Бекашева¹, С.А. Иванов¹, Н.В. Салазкина¹, В.В. Ступина¹,
А.Н. Кадука²

¹Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский противотуберкулезный диспансер № 3, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования — определение удельной активности ^{234}U и ^{238}U в воде подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга и оценка возможности использования исследованных подземных водоисточников с точки зрения радиационной и химической токсичности основных дозообразующих изотопов урана, обычно представленных в подземных водах. Объектом исследования в данной работе является вода действующих и разведочных подземных источников водоснабжения относительно безопасности ее потребления по радиационному и химическому показателю. Данные о величинах удельной активности природных изотопов урана в изучаемых источниках были получены в результате радиохимического анализа с последующим альфа-спектрометрическим измерением счетных образцов. В период с февраля 2011 г. по май 2017 г. был осуществлен анализ 58 проб природной воды из артезианских скважин. Объем проб составлял от 10 л до 30 л, время измерения удельной активности счетного образца составляло 6–12 ч, что позволило определять значение удельной активности радионуклидов на уровне 0,0002 Бк/кг. Значения удельной активности ^{238}U варьировали в пределах от 0,0002 Бк/кг до 0,06 Бк/кг при среднем значении 0,007 Бк/кг, ^{234}U — от 0,0006 Бк/кг до 0,111 Бк/кг при среднем значении 0,013 Бк/кг. Среднее значение соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 2,12 при диапазоне данной величины от 1,00 до 8,00. Результаты проведенных исследований показали, что для проб, отобранных в пределах одного водоносного горизонта небольшого населенного пункта, удельная активность изотопов урана может отличаться более чем на порядок величины. Для подавляющего большинства проанализированных проб значение удельной активности ^{238}U не превышает 0,02 Бк/кг, ^{234}U — 0,04 Бк/кг. Для 98,3% проанализированных проб значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,00–4,00. С большой долей вероятности можно утверждать, что по содержанию ^{238}U и ^{234}U вода подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга безопасна для потребления населением, как с точки зрения радиологического фактора, так и с точки зрения химической токсичности.

Ключевые слова: вода подземных источников водоснабжения, изотопы урана, радиохимический анализ, удельная активность, соотношение удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

Введение

В состав природной смеси изотопов урана входят ^{234}U , ^{235}U и ^{238}U . Относительное содержание в природе трех изотопов урана с массовыми числами 234, 235 и 238 равно 0,006%, 0,71% и 99,28% соответственно. Данных о содержании урана в горных породах и жидких природных соединениях еще относительно мало, и качественная оценка распространенности этого элемента в земной коре только приближительна. Концентрация урана в некоторых подземных водах РФ, не связанных с урановыми месторождениями, находится в пределах $0,2\text{--}120\cdot 10^{-6}\text{ г/л}$. [1].

В настоящее время важное значение приобретает проблема разведки, радиологического мониторинга и рационального использования подземных, в частности артезианских вод. Это связано с ростом промышленного загрязнения бассейнов рек и водохранилищ. Вода из глубоких подземных источников, как правило, не несет в себе промышленных, сельскохозяйственных и других химических загрязнений, но может характеризоваться повышенным содержанием природных альфа-излучающих радионуклидов вследствие их выщелачивания из водовмещающих пород.

Кадука Марина Валерьевна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, г. Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: kaduka@mail.ru

По условиям залегания подземные воды делятся на почвенные, грунтовые, межпластовые. В состав последних входят и так называемые минеральные воды, часто отличающиеся сравнительно высокой радиоактивностью. Как правило, уровень активности подземных вод зависит от их химического состава, который определяется физико-химическими, физико-географическими, геологическими, гидрологическими, биологическими и другими факторами [2]. Вследствие этого радионуклидный состав подземных вод и уровни содержания природных радионуклидов, в том числе изотопов урана, в подземных водах варьирует в значительных пределах.

Уровень вмешательства по содержанию ^{234}U в воде, определенный Приложением 2а к НРБ-99/2009¹, составляет 2,8 Бк/кг, ^{235}U – 2,9 Бк/кг, ^{238}U – 3,0 Бк/кг. При этом следует принимать во внимание химическую токсичность данного элемента. Подробное обоснование данного положения изложено в работах [3, 4]. В Руководстве ВОЗ по питьевой воде [5] обсуждение вопросов ограничения содержания урана в питьевой воде вынесено в отдельный раздел, что связано с важностью контроля питьевой воды по данному показателю. В качестве уровня вмешательства по химической токсичности для смеси изотопов природного урана рекомендуется его содержание на уровне до 30 мкг/л (приблизительно 0,37 Бк/л) при стандартном потреблении воды 2 л в сутки. При более высоком содержании урана в воде рекомендуется принятие мер по снижению поступления его в организм за счет потребления питьевой воды.

Цель исследования – определение удельной активности ^{234}U и ^{238}U в воде подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга и оценка возможности использования исследованных подземных водоисточников с точки зрения радиационной и химической токсичности основных дозообразующих изотопов урана, обычно представленных в подземных водах.

Материалы и методы

Объектом исследования в данной работе является вода действующих и разведочных (планируемых к введению в эксплуатацию) подземных источников водоснабжения населения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга с точки зрения безопасности ее потребления по радиационному и химическому показателю. Данные о величинах удельной активности природных изотопов урана в изучаемых источниках были получены в результате радиохимического анализа проб воды, отобранных из артезианских скважин Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга по методике, разработанной в Научно-исследовательском институте радиационной гигиены (НИИРГ)² [6]. Используемые в методике приемы концентрирования и селективного выделения групп изотопов одного или нескольких элементов, отделения их от макрокомпонентов, радиохимической очистки каждого

радионуклида и приготовления счетного образца для измерения активности изложены в работе [7].

В соответствии с методикой² [6] при приготовлении счетных образцов для измерения удельной активности природных радионуклидов из аликвоты пробы массой 10 кг путем радиохимического анализа приготавливают счетные образцы, содержащие отдельные радионуклиды. Активность каждого радионуклида определяют с помощью альфа-бета – радиометра или альфа-спектрометра, предварительно отградуированных в единицах активности.

Метод определения содержания в воде ^{238}U и ^{234}U основан на хроматографическом выделении суммы изотопов урана с использованием анионита ЭДЭ-10П (или другого полифункционального низкоосновного анионита конденсационного типа) с последующим альфа-спектрометрическим определением активности радионуклидов. Для определения химического выхода урана на начальном этапе анализа в пробу вводят изотопный индикатор – ^{232}U . Активность вносимого ^{232}U не должна превышать ожидаемых в пробе воды активностей ^{238}U и ^{234}U более чем в 5–10 раз. Как правило, в пробу вносят 0,2–0,3 Бк ^{232}U . Раствор, оставшийся после выделения из него ^{210}Po и ^{210}Bi , упаривают до 20–30 мл, добавляют 10 мл смеси концентрированных HCl и HNO_3 (объемное соотношение 1:1), накрывают часовым стеклом и кипятят до образования влажных солей. Операцию повторяют несколько раз до полного разложения органических веществ (в основном лимонной и аскорбиновой кислот). Влажные соли обрабатывают концентрированной HCl до удаления HNO_3 , растворяют в 50 мл 8 н HCl и пропускают раствор через колонку диаметром 10 мм с 15 мл предварительно подготовленной анионообменной смолы ЭДЭ-10П со скоростью 1 мл/мин. Затем через колонку пропускают 70 мл 8 н HCl . Изотопы урана элюируют с колонки 0,5 н HCl . Объем элюата должен составлять 100–150 мл, что обеспечивает полноту десорбции урана. Полученный раствор упаривают до 10–20 мл, приливают 10 мл 10% раствора углекислого аммония, устанавливают $\text{pH}=8\text{--}9$ с помощью раствора аммиака, нагревают до коагуляции осадка, затем отфильтровывают осадок через фильтр «белая лента», промывают 5 мл 2% раствора углекислого аммония. Далее проводят пересаживание осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$ для более полного отделения изотопов урана от мешающих элементов. Для этой цели отфильтрованный и промытый осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$ растворяют в 20 мл 0,5 н HCl и повторяют процесс осаждения $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в присутствии раствора карбоната аммония. К объединенным фильтратам, содержащим растворимый карбонатный комплекс $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$, осторожно приливают смесь HNO_3 и HCl (1:1), накрывают часовым стеклом и кипятят до разрушения аммонийных солей (операцию необходимо повторить 2–4 раза). Удаление HNO_3 проводят обработкой влажных солей концентрированной HCl . К полученному сухому остатку добавляют 10 см³ 0,5 н HNO_3 и нагревают. К полученному раствору прибав-

¹ СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009 [Sanitary Rules and Norms 2.6.1.2523-09 "Radiation Safety Standard NRB-99/2009"].

² Методические рекомендации МР 2.6.1.0064-12 «Радиационный контроль питьевой воды методами радиохимического анализа». – 63 с. [Methodical Recommendations MR 2.6.1.0064-12 «Radiation control of the drinking water using radiochemical analysis methodic». M. Rospotrebnadzor, 63 p.]

ляют 5 см³ 1% раствора трилона Б, 1 см³ насыщенного (NH₄)₂C₂O₄ и 1 см³ 25% NH₄Cl. Доводят аммиаком pH до 9, переносят в электролитическую ячейку, стакан обмывают 5 см³ дистиллированной воды. Промывные воды также переносят в электролитическую ячейку. Электролиз проводят при силе тока 2 А в течение 0,5 ч. В ходе электролиза контролируют pH раствора, поддерживая его на уровне 9. За минуту до окончания электролиза в раствор добавляют 1 мл раствора аммиака. Разбирают ячейку, вынимают мишень (диск из нержавеющей стали), промывают этиловым спиртом и прокалывают на спиртовке до слегка желтого цвета. Полученный препарат является счетным образцом для измерения активности изотопов урана на альфа-спектрометре.

Результаты и обсуждение

В период с февраля 2011 г. по май 2017 г. (включительно) был осуществлен анализ 58 проб природной воды из артезианских скважин, расположенных на территории 11 населенных пунктов 6 районов Ленинградской области и 3 проб, отобранных из месторождения подземных вод «Александровское» на территории г. Пушкин г. Санкт-

Петербурга с определением удельной суммарной альфа- и бета-активности и удельной активности основных дозообразующих радионуклидов, включая ²³⁸U и ²³⁴U. Объем проб, отобранных для анализа, составлял от 10 л до 30 л. При этом время измерения удельной активности счетного образца (диск из нержавеющей стали), содержащего соединения альфа-излучающих изотопов урана, составляло 6–12 ч, что позволило определять значение удельной активности радионуклидов на уровне 0,0002 Бк/кг. Результаты альфа-спектрометрического определения удельной активности ²³⁸U и ²³⁴U в отобранных пробах подземных водоисточников представлены в таблице 1. Присутствия в воде обследованных водоисточников ²³⁵U обнаружено не было.

Среднее значение удельной активности ²³⁸U с учетом его содержания во всех проанализированных пробах составило 0,007 Бк/кг, ²³⁴U – 0,013 Бк/кг, среднее значение соотношения удельных активностей ²³⁴U/²³⁸U составило 2,12.

Диапазоны значений удельной активности ²³⁸U и ²³⁴U в отобранных пробах подземных водоисточников и диапазоны соотношения ²³⁴U/²³⁸U представлены в таблице 2.

Таблица 1
Средние значения удельной активности и соотношения изотопов урана (²³⁸U и ²³⁴U) в пробах воды подземных водоисточников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга

[Table 1]

Average values of specific activity and the ratio of uranium isotopes (²³⁸U and ²³⁴U) in the samples of in the water of groundwater supplies of Leningrad region and St-Petersburg]

Место отбора [Place of sampling]	Число проб [Number of samples]	²³⁸ U, Бк/кг [²³⁸ U, Bq/kg]	²³⁴ U, Бк/кг [²³⁴ U, Bq/kg]	²³⁴ U/ ²³⁸ U	Глубина отбора, м [Sampling depth]	Порода [Rock]*
Кингисеппский район [Kingisepp region]						
Хаболово [Khabolovo]	8	0,0027	0,0045	2,45	55 – 59	Песок мелкий [Fine sand]
Усть-Луга [Ust' Luga]	5	0,0044	0,0076	2,00	26	Песок [Sand]
	1	0,0003	0,0005	1,67	163	Песок [Sand]
Кингисепп [Kingisepp]	5	0,0053	0,0086	1,97	155 – 165	Глина [Clay]
Волосовский район [Volosovo region]						
Карстолово [Karstolovo]	4	0,0135	0,0245	1,83	10,5 – 60	Известняк [Limestone]
Выборгский район [Viborg region]						
Озерское [Ozerskoie]	17	0,0044	0,0058	1,51	6,6 – 25	Гранито-гнейсы [Granite-gneiss]
Каменногорск [Kamennogorsk]	5	0,0024	0,0025	1,02	9,0	Песок [Sand]
Таммисуо [Tammisuo]	3	0,0024	0,0046	2,46	15 – 15,5	Граниты [Granite]
Бусловская [Buslovskaya]	1	0,0060	0,0100	1,67	20	Граниты [Granite]
Всеволожский район [Vsevolzhsk region]						
Мурино [Murino]	2	0,0030	0,0160	6,00	50	Глина [Clay]

Окончание таблицы 1

Место отбора [Place of sampling]	Число проб [Number of samples]	^{238}U , Бк/кг [^{238}U , Bq/kg]	^{234}U , Бк/кг [^{234}U , Bq/kg]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	Глубина отбора, м [Sampling depth]	Порода [Rock]*
Гатчинский район [Gatchina region]						
Гатчина [Gatchina]	3	0,0393	0,0673	1,72	25	Песок [Sand]
Тосненский район [Tosno region]						
Тосно [Tosno]	1	0,0120	0,0220	1,83	100	Известняк [Limestone]
г. Санкт-Петербург [Saint-Petersburg]						
Пушкин [Pushkin]	3	0,0137	0,0403	2,67	300	Глина [Clay]

* – основная водовмещающая порода горизонта отбора проб [the main water-bearing rock of the sampling horizon].

Таблица 2

Диапазоны значений удельной активности и соотношения изотопов урана (^{238}U и ^{234}U) в пробах воды подземных водоисточников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга

[Table 2]

Range of specific activity and the ratio of uranium isotopes (^{238}U and ^{234}U) in the samples of in the water of groundwater supplies of Leningrad region and St-Petersburg]

Место отбора [Place of sampling]	Число проб [Number of samples]	^{238}U , Бк/кг [^{238}U , Bq/kg]	^{234}U , Бк/кг [^{234}U , Bq/kg]	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
Хаболово [Khabolovo]	8	0,0002–0,009	0,0006–0,013	1,35–4,0
Усть-Луга (26 м) [Ust' Luga, 26 m]	5	0,002–0,014	0,002–0,028	2,00
Усть-Луга (163 м) [Ust' Luga, 163 m]	1	0,0003	0,0005	1,67
Кингисепп [Kingisepp]	5	0,0014–0,019	0,002–0,034	1,79–2,14
Карстолово [Karstolovo]	4	0,008–0,021	0,013–0,035	1,42–2,69
Озерское [Ozerskoie]	17	0,0014–0,019	0,002–0,022	1,00–2,00
Каменногорск [Kamennogorsk]	5	0,002–0,004	0,002–0,004	1,00–1,05
Таммисуо [Tammisuo]	3	0,0013–0,004	0,002–0,008	2,00–2,92
Бусловская [Buslovskaya]	1	0,0060	0,0100	1,67
Мурино [Murino]	2	0,002–0,004	0,016	4,00–8,00
Гатчина [Gatchina]	3	0,019–0,060	0,032–0,100	1,67–1,79
Тосно [Tosno]	1	0,0120	0,0220	1,83
Пушкин [Pushkin]	3	0,002–0,037	0,005–0,111	2,50–3,00

Значения удельной активности ^{238}U варьировали в пределах от 0,0002 Бк/кг до 0,06 Бк/кг, ^{234}U – от 0,0006 Бк/кг до 0,111 Бк/кг. Результаты исследования содержания альфа-излучающих изотопов урана в воде подземных водоисточников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга, представленные в таблице 2, хорошо согласуются с данными авторов, проводивших исследования в других регионах России. Для сравнения, по данным изотопной лаборатории ВИМС, активность ^{238}U в подземных водах средней полосы европейской части России варьирует в пределах 0,006–0,06 Бк/кг, а активность ^{234}U находится в пределах 0,008–0,09 Бк/кг [8].

Известно, что для природных подземных вод характерно соотношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ более 1. По данным работы [8], для подземных вод осадочных пород средней полосы европейской части России значение соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составляет 1,2–2,5.

По результатам наших исследований соотношение удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для подземных вод Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга (см. табл. 2) варьировало от 1,00 до 8,00 при среднем значении соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ – 2,12. Полученные значения соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ хорошо согласуются и с данными авторов, проводивших исследования подземных вод на севере европейской части России в Архангельской области в районе реки Северная Двина [9]. По данным авторов работы [9], соотношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в исследованных подземных водоисточниках (28 проб) составило 1,92–7,13 при среднем значении 5,00. Значение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, равное 15,92, полученное исследователями [9] для скважины Лазурный-1 в 2007 г., в расчет не принималось, так как при исследовании воды той же скважины в 2005, 2006, 2008 и 2010 гг. соотношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,92–7,13. Это позволяет предположить вероятность технической ошибки при проведении исследования в 2007 г. или временного резкого изменения условий эксплуатации скважины, вызванного антропогенным или природным фактором, что привело к резкому увеличению значения соотношения изотопов урана в воде.

В результате проведенного нами исследования было установлено, что значения активности изотопов урана в пробах воды подземных водоисточников в пределах одного населенного пункта, предположительно отобранных из одного водоносного горизонта, могут различаться на порядок величины. Так, в 2012–2013 гг. было проанализировано 17 проб, отобранных из 6 скважин в поселке Озерское Каменногорского городского поселения Выборгского района Ленинградской области. Отбор проб воды для анализа проводили в зимний, весенний, летний и осенний сезоны года. Глубина отбора составила 6,6–25 м, отбор проводился из водоносного горизонта залежей четвертичных отложений, в основном состоящих из гранито-гнейсов. Значения удельной активности ^{238}U в воде скважин п. Озерское варьировали в пределах от 0,0014 Бк/кг до 0,019 Бк/кг, ^{234}U – от 0,002 Бк/кг до 0,022 Бк/кг. Таким образом, удельная активность ^{238}U для отобранных в пределах одного водоносного горизонта небольшого населенного пункта проб различалась в 13,6 раза, ^{234}U – в 11 раз. Значение соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,00–2,00. Следовательно, диапазон вариаций природных активностей изотопов урана в пределах одного водоносного горизонта одного населенного пункта может быть весьма значительным.

Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений удельной активности ^{238}U представлено на рисунке 1.

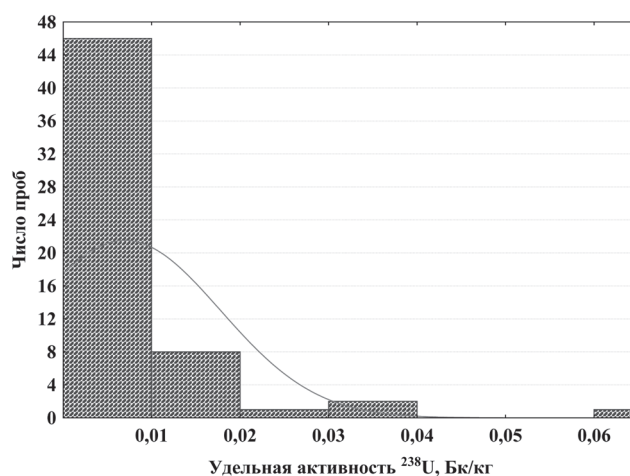


Рис. 1. Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений удельной активности ^{238}U

[Fig. 1. Distribution of the investigated samples by the ranges of ^{238}U specific activity values]

Как видно из представленных на рисунке 1 данных, для подавляющего большинства проанализированных проб значение удельной активности ^{238}U не превышает 0,02 Бк/кг. В диапазоне значений 0,0002–0,01 Бк/кг по удельной активности ^{238}U находится 79,3% проб, в диапазоне 0,011–0,02 Бк/кг находится 13,8% проб, в диапазоне 0,021–0,04 Бк/кг находится 5,2% проб. Значение удельной активности ^{238}U для оставшихся 1,7% проб (с удельной активностью ^{238}U более 0,04 Бк/кг) не превышает 0,06 Бк/кг при уровне вмешательства по содержанию данного радионуклида в воде, определенном приложением 2а к НРБ-99/2009, – 3,0 Бк/кг.

Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений удельной активности ^{234}U представлено на рисунке 2.

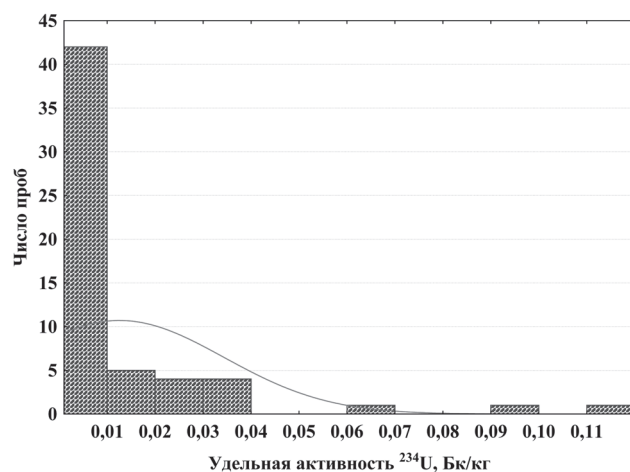


Рис. 2. Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений удельной активности ^{234}U

[Fig. 2. Distribution of the investigated samples by the ranges of ^{234}U specific activity values]

Как видно из представленных на рисунке 2 данных, для подавляющего большинства проанализированных проб значение удельной активности ^{234}U не превышает 0,04 Бк/кг. В диапазоне значений 0,0006–0,01 Бк/кг по удельной активности ^{234}U находится 72,4% проб, в диапазоне 0,011–0,02 Бк/кг находится 8,6% проб, в диапазоне 0,021–0,04 Бк/кг находится 13,8% проб. Значение удельной активности ^{234}U для оставшихся 5,2% проб (с удельной активностью ^{234}U более 0,04 Бк/кг) не превышает 0,111 Бк/кг при уровне вмешательства по содержанию данного радионуклида в воде, определенном приложением 2а к НРБ-99/2009, – 2,8 Бк/кг.

Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ представлено на рисунке 3.

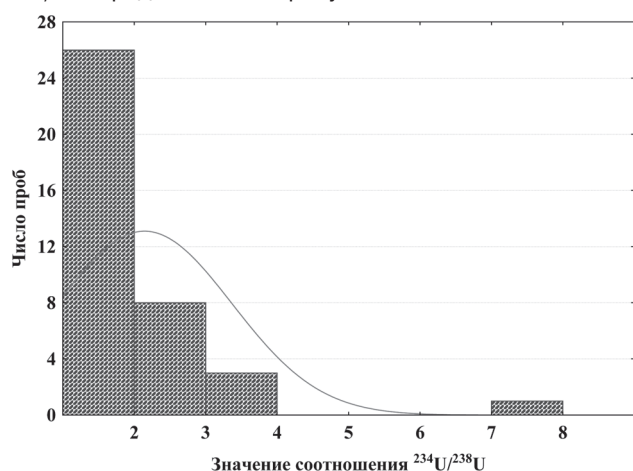


Рис. 3. Распределение исследованных проб воды по диапазонам значений соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

[Fig. 3. Distribution of the investigated samples by the ranges of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ specific activity values ratio]

Для 57 из 58 проанализированных проб (98,3%) значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,00–4,00. Для одной из всех проанализированных проб (1,7%), отобранной в деревне Мурино Всеволожского района, глубина скважины 50 м, водовмещающая порода – глина, значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 8,00. В диапазоне значений 1,00–2,00 по величине соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ находится 79,3% проб, в диапазоне 2,01–3,00 находится 13,8% проб, в диапазоне 3,01–4,00 находится 5,2% проб.

В радиохимической лаборатории НИИРГ с 2002 г. по настоящее время было выполнено определение содержания ^{238}U в 331 пробе питьевой воды подземных вод источников г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Результаты исследований представлены в работах [10–12]. Удельную активность ^{234}U начали определять с

февраля 2011 г. после внедрения в работу лаборатории альфа-спектрометра Alpha Ensemble фирмы AMETEC, предназначенного для измерения высокоактивных образцов и сложных спектров-мультиплетов с возможностью одновременного независимого измерения 8 образцов разной активности. Содержание ^{234}U определили в 58 пробах, отобранных на территории Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга. Нормативно-методические документы предписывают определять удельную активность ^{234}U в воде всех подземных источников, для которых значение удельной суммарной альфа-активности с учетом неопределенности измерений превысило 0,4 Бк/кг³. При этом корректное определение удельной активности альфа-излучающих изотопов урана в пробах воды требует наличия в лаборатории дорогостоящего альфа-спектрометрического оборудования. Кроме того, приготовление счетного образца для альфа-спектрометрического определения активности альфа-излучающих радионуклидов, калибровка оборудования и обработка спектра требуют достаточно высокой квалификации персонала, проводящего данные виды работ.

В результате исследований, проведенных в НИИРГ с 2002 г. по настоящее время, было установлено, что для воды обследованных подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга (331 проба) максимальная удельная активность ^{238}U составила 0,073 Бк/кг. При этом по результатам исследований, приведенных в данной работе, соотношение удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для абсолютного большинства проб (98,3%) не превышало 4. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что для пробы воды, для которой было обнаружено максимальное значение удельной активности ^{238}U (0,073 Бк/кг), значение удельной активности ^{234}U , вероятнее всего, не превысит 0,292 Бк/кг. Суммарное содержание ($^{238}\text{U} + ^{234}\text{U}$) при этом составит 0,365 Бк/кг.

Ввиду того, что для абсолютного большинства проб воды подземных источников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга значение соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ не превысит 4, при значении удельной активности ^{238}U в пробе воды не превышающем 0,7 Бк/кг (с учетом неопределенности измерения), проводить дорогостоящее альфа-спектрометрическое определение содержания ^{234}U не является целесообразным. Таким образом, с большой долей вероятности можно утверждать, что по содержанию альфа-излучающих изотопов урана (^{238}U , ^{234}U) вода подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга безопасна для потребления населением, как с точки зрения радиологического фактора, так и с точки зрения химической токсичности.

Выводы

1. Для подавляющего большинства проанализированных проб (93,1%) значение удельной активности ^{238}U не

³ Методические указания МУ 2.6.1.1981-05. Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов [Methodical instructions MI 2.6.1.1981-05 "Radiation control and hygienic assessment of drinking water supplies and drinking water concerning the indexes of radiation protection. Optimization of protective measures applied to drinking water with enhanced radionuclides content supplies"]

превышает 0,02 Бк/кг, значение удельной активности ^{238}U для оставшихся 6,9% проб не превышает 0,06 Бк/кг при уровне вмешательства по содержанию данного радионуклида в воде, определенном приложением 2а к НРБ-99/2009, – 3,0 Бк/кг.

2. Для подавляющего большинства проанализированных проб (94,8%) значение удельной активности ^{234}U не превышает 0,04 Бк/кг, значение удельной активности ^{234}U для оставшихся 5,2% проб не превышает 0,111 Бк/кг при уровне вмешательства по содержанию данного радионуклида в воде, определенном приложением 2а к НРБ-99/2009, – 2,8 Бк/кг.

3. Для 98,3% проанализированных проб значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 1,00–4,00, для 1,7% проб значение величины соотношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ составило 8,00.

4. Для абсолютного большинства проб воды подземных источников Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга значение соотношения удельных активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ не превысит 4, при значении удельной активности ^{238}U в пробе воды, не превышающем 0,7 Бк/кг (с учетом неопределенности измерения), проводить дорогостоящее альфа-спектрометрическое определение содержания ^{234}U не является целесообразным.

5. С большой долей вероятности можно утверждать, что по содержанию альфа-излучающих изотопов урана (^{238}U , ^{234}U) вода подземных источников водоснабжения Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга безопасна для потребления населением, как с точки зрения радиологического фактора, так и с точки зрения химической токсичности.

Литература

- Вдовенко, В.М. Химия урана и трансурановых элементов / В.М. Вдовенко. – Москва – Ленинград: Издательство академии наук СССР, 1960. – 697 с.
- Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 286 с.
- Стамат, И.П. О нормировании показателей радиационной безопасности минеральных природных вод / И.П. Стамат, В.В. Ступина // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 30–36.
- Стамат, И.П. Обоснование подходов к нормированию показателей радиационной безопасности питьевой воды, расфасованной в емкости / И.П. Стамат, И.К. Романович // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 6–17.
- World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 1: 4th ed. ISBN 978 92 4 154815 1. Geneva, 2011, pp. 203–217.
- Методика выполнения измерений удельной активности радионуклидов ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr и суммарной удельной активности альфа-, бета-излучающих радионуклидов в воде с применением альфа-бета радиометра и альфа-спектрометра. Свидетельство ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» Федерального государственного агентства по техническому регулированию и метрологии № 1212/07 от 26 октября 2007 г. – 42 с.
- Кадука, М.В. Содержание природных радионуклидов в минеральной природной питьевой воде Санкт-Петербурга и Ленинградской области / М.В. Кадука, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, С.А. Иванов, Н.В. Салазкина, В.В. Ступина, А.Н. Кадука // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 20–27.
- Бахур, А.Е. Радиоактивность природных вод / А.Е. Бахур // АНРИ. – 1996/97. – № 2 (8). – С. 32–39.
- Малов, А.И. Многолетние изменения активностей изотопов урана в подземных водах венда Мезенской синеклизы / А.И. Малов, М.В. Гонтарев, С.Б. Зыков, А.И. Поршнева // Arctic Environmental Research. – 2014. – Том 2. – С. 23–31.
- Кадука, М.В. Оценка доз облучения населения Северо-Западного региона России за счет потребления питьевой воды / М.В. Кадука, Н.С. Швыдко, В.Н. Шутов, Л.Н. Басалаева, Ю.Н. Гончарова, Н.В. Салазкина, А.Н. Кадука // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 23–27.
- Кадука, М.В. Оценка радиационных показателей питьевой воды Северо-западного федерального округа и доз облучения населения за счет ее потребления / М.В. Кадука, И.П. Стамат, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, С.А. Иванов, Н.В. Салазкина, А.Н. Кадука; под ред. д.м.н. Горбанева С.А., проф. д.м.н. Фридмана К.Б. // Матер. межрегиональн. науч.-практ. конф. Северо-Западного Федерального округа «Чистая вода – здоровый город. Гигиенические проблемы питьевого водоснабжения Северо-Запада». – СПб.: Книжный формат, 2016. – С. 21–25.
- Кадука, М.В. Гигиеническая диагностика радиационных показателей минеральной воды Санкт-Петербурга и Ленинградской области в современных условиях / М.В. Кадука, Л.Н. Басалаева, Т.А. Бекашева, С.А. Иванов, Н.В. Салазкина, А.Н. Кадука; под общ. ред. д.м.н., проф. М.П. Захарченко // Сб. матер. 13-й Евразийской науч. конф. Донозоология-2017 на тему «Проблемы гигиенической донозологической диагностики и первичной профилактики заболеваний в современных условиях». – Санкт-Петербург, 14–15 декабря 2017 г. – СПб.: Крисмас+, 2017. – С. 239–242.

Поступила: 30.07.2018 г.

Кадука Марина Валерьевна – заведующая радиохимической лабораторией Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, дом 8; E-mail: kaduka@mail.ru

Басалаева Лариса Николаевна – старший научный сотрудник радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Бекашева Тамара Анатольевна – ведущий инженер-исследователь радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Иванов Сергей Анатольевич – младший научный сотрудник радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Салазкина Нина Викторовна – ведущий инженер-исследователь радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Ступина Вероника Вячеславовна – ведущий инженер-исследователь радиохимической лаборатории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Кадука Александра Николаевна – врач-фтизиатр участковый Санкт-Петербургского противотуберкулезного диспансера № 3, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Кадука М.В., Басалаева Л.Н., Бекяшева Т.А., Иванов С.А., Салазкина Н.В., Ступина В.В., Кадука А.Н. Содержание изотопов урана в подземных источниках водоснабжения населения Ленинградской области и Санкт-Петербурга // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 74-82. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-74-82

Content of uranium isotopes in the groundwater supplies used for population of Leningrad region and St-Petersburg

Marina V. Kaduka¹, Larisa N. Basalaeva¹, Tamara A. Bekyasheva¹, Sergey A. Ivanov¹, Nina V. Salazkina¹,
Veronika V. Stupina¹, Aleksandra N. Kaduka²

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg Tuberculosis Treatment Center №3, Saint-Petersburg, Russia

The aim of the study was to obtain ^{234}U and ^{238}U specific activity in the water of groundwater supplies of Leningrad region and St-Petersburg and to estimate the possibility of their using from the point of view of radiation and chemical toxicity of the main dose-forming uranium isotopes usually containing in the underground waters. The study was focused on the water of functioning and exploratory groundwater supplies concerning the safety of water consumption taken into account radiation and chemical index. Data on the levels of natural uranium isotopes specific activity in the sources under investigation was obtained using radiochemical analysis with the subsequent alpha-spectrometric measurement of the counting samples. 58 samples of natural groundwater were analyzed during the period from February of 2011 till the May of 2017. The volume of the native water samples was from 10 l to 30 l, measuring time for each counting sample was 6 – 12 hours, which allowed measuring the radionuclides specific activity value at the level of 0.0002 Bq/kg. The values of ^{238}U specific activity varied within 0.0002 Bq/kg – 0.06 Bq/kg, the average value was 0.007 Bq/kg. The values of ^{234}U specific activity varied within 0.0006 Bq/kg – 0.111 Bq/kg, the average value was 0.013 Bq/kg. The average value of the specific activities ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ was 2.12 and the range of this value was 1.00 – 8.00. The results of carried out investigations demonstrates that the specific activity values of uranium isotopes could differ more then by an order of magnitude even in the borders of same aquifer of a small settlement. ^{238}U specific activity value does not exceed 0.02 Bq/kg and ^{234}U specific activity value does not exceed 0.04 Bq/kg for the vast majority of analyzed sample. The value of the ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ was 1.00 – 4.00 for 98.3% of analyzed sample. It is possible to conclude with a high probability that the water from the groundwater supplies of Leningrad region and St-Petersburg is safe for consumption by population concerning ^{234}U and ^{238}U content as from the point of view of radiological factor, so from the point of view of chemical toxicity.

Key words: water from the groundwater supplies, uranium isotopes, radiochemical analysis, specific activity, specific activities ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

Marina V. Kaduka

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: kaduka@mail.ru

References

1. Vdovenko V.M. Chemistry of uranium and transuranium elements. Publisher Academy of Sciences USSR. Moscow – Leningrad, 1960, 697 p. (In Russian)
2. Sapozhnikov Yu.A., Aliev R.A., Kalmykov S.N. Environmental radioactivity. Moscow, BINOM. Laboratory of knowledge, 2006, 286 p. (In Russian)
3. Stamat I.P., Stupina V.V. On standardization of radiation protection indexes of natural mineral waters. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(2):30-36 (In Russian).
4. Stamat I.P., Romanovich I.K. Justification of approaches to the rationing radiation safety indicators for packaged drinking water. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1):6-17. (In Russian)
5. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 1: 4th ed. ISBN 978 92 4 154815 1. Geneva, 2011, pp. 203-217.
6. Procedure of measurements of the specific activities of ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{90}Sr radionuclides and gross specific activity of alpha, beta-emitting radionuclides in water using alpha-beta radiometer and alpha-spectrometer. Certificate of FGUP «D.I. Mendeleyev Institute for Metrology» № 1212/07 from 26.10.2007, 42 p. (In Russian)
7. Kaduka M.V., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A., Salazkina N.V., Stupina V.V., Kaduka A.N. Content of natural radionuclides in mineral drinking water of St-Petersburg and Leningrad region. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 2, pp. 20-27. (In Russian)
8. Bakhur A.E. Radioactivity of natural waters. ANRI = ANRI, 1996/97, No. 2 (8), pp. 32-39. (In Russian)
9. Malov A.I., Gontarev M.V., Zykov S.B., Porshnev A.I. Long-term changes in uranium isotopes activity in the Vendian groundwater of the Mezen syncline. *Arctic Environmental Research*, 2014, Vol. 2, pp. 23-31.
10. Kaduka M.V., Shvydko N.S., Shutov V.N., Basalaeva L.N., Goncharova Yu.N., Salazkina N.V., Kaduka A.N. Estimation of the population exposure doses from drinking-water consumption for the inhabitants of North-Eastern area of Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2010;3(1):23-27 (In Russian)
11. Kaduka M.V., Stamat I.P., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A., Salazkina N.V., Kaduka A.N. Estimation of radiation indexes of the mineral water in St-Petersburg and Leningrad region in modern conditions. Materials of inter-regional scientific-practical conference of North-Western Federal Region "Pure water – healthy city. Hygienic problems drinking water service of North-Western Region". Ed. by doctor of medical sciences Gorbanev S.A, professor Fridman K.B. Saint-Petersburg, Book format, 2016, pp. 21-25. (In Russian)
12. Kaduka M.V., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A., Salazkina N.V., Kaduka A.N. Hygienic characteristics of the radiation indicators of the mineral water in St-Petersburg and Leningrad region in modern conditions. Proceedings of the 13th Eurasian scientific conference Prenozology – 2017 «Problems of hygienic prenosological diagnostics and primordial prevention of the diseases in modern conditions» 14-15 December 2017. Ed. by Professor Zakharchenko M.P. Saint-Petersburg, Krismas+, 2017, pp. 239-242. (In Russian)

Received: July 30, 2018

For correspondence: Marina V. Kaduka – Head of radiochemical laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: kaduka@mail.ru)

Larisa N. Basalaeva – Senior scientist, radiochemical laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Tamara A. Bekyasheva – Leading engineer-researcher, radiochemical laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Sergey A. Ivanov – Junior scientist, radiochemical laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Nina V. Salazkina – Leading engineer-researcher, radiochemical laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Veronika V. Stupina – Leading engineer-researcher, radiochemical laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Aleksandra N. Kaduka – Phthisiatritian, St-Petersburg Tuberculosis Treatment Center № 3, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Kaduka M.V., Basalaeva L.N., Bekyasheva T.A., Ivanov S.A., Salazkina N.V., Stupina V.V., Kaduka A.N. Content of uranium isotopes in the groundwater supplies used for population of Leningrad region and St-Petersburg. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 3, pp. 74-82. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-74-82