

Оценка доз облучения населения Северо-Западного региона России за счет потребления питьевой воды

М.В. Кадука¹, Н.С. Швыдко¹, В.Н. Шутов¹, Л.Н. Басалаева¹,
Ю.Н. Гончарова¹, Н.В. Салазкина¹, А.Н. Кадука²

¹ ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

В настоящей работе приведены данные о содержании природных радионуклидов в питьевой воде Северо-Западного региона Российской Федерации, полученные в результате многолетних исследований, и проведена оценка доз внутреннего облучения населения региона за счет потребления питьевой воды.

Ключевые слова: природные радионуклиды, радиохимический анализ, уровни вмешательства, дозы облучения за счет потребления питьевой воды.

Введение

Для обеспечения радиационной безопасности питьевого водоснабжения населения необходима информация о радионуклидном составе и удельной активности основных дозообразующих радионуклидов в питьевой воде [1, 2].

Наибольший вклад в формирование дозы облучения за счет потребления питьевой воды вносят такие радионуклиды природных рядов урана и тория, как ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , в меньшей степени – ^{210}Pb и изотопы тория (^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th) [2].

В силу чрезвычайной вариабельности радионуклидного состава и удельной активности природных радионуклидов, минерального состава и других характеристик природных вод необходимо использование, по возможности, прямых радиохимических методов определения содержания радионуклидов.

При превышении контрольных уровней удельной суммарной α - и/или β - активности выполнение радионуклидного анализа воды является обязательным, причем желательно с привлечением методов, позволяющих дать точную количественную характеристику того или иного радионуклида в исследуемой пробе. Несмотря на сложность и трудоемкость радиохимических методов, необходимость привлечения специалистов высокой квалификации, преимущество использования радиохимических приемов для контроля и гигиенической оценки питьевой воды по показателям радиационной безопасности очевидно. Радиохимический анализ позволяет с высокой степенью надежности выделять радиохимически чистые изотопы, избегать косвенных оценок содержания радионуклидов, обладает высокой чувствительностью, точностью и информативностью.

Следует подчеркнуть, что большинство известных радиохимических методик определения природных радионуклидов предусматривает их анализ из отдельных проб воды. Вместе с тем, информация, получаемая из одной пробы при последовательном выделении из нее радиоизотопов урана, радия, свинца и полония, более достоверна, особенно учитывая высокую степень гетерогенности радионуклидного состава природных вод.

Цель исследования

Оценка доз облучения населения за счет потребления питьевой воды.

Материалы и методы

Объектами исследования служили источники питьевого водоснабжения Северо-Западного региона России. Данные о величинах удельной активности радионуклидов в изучаемых источниках были получены в результате радиохимического анализа отобранных из них проб воды по методике выполнения измерений (МВИ), разработанной в институте [3].

В соответствии с МВИ [3] при приготовлении счетных образцов для измерения удельной суммарной альфа- и бета-активности воды выпаривают 1 л воды до объема 20 мл, переносят в фарфоровую чашку, стакан обмывают 10 мл 10% H_2SO_4 , 10 мл дистиллированной воды и также переливают в чашку. Содержимое чашки выпаривают на электрической плитке до удаления паров H_2SO_4 и образования сухого остатка, который затем прокалывают в муфельной печи в течение 1 ч при температуре 300–400°C. После охлаждения осадок растирают до состояния пудры, взвешивают, аликвотную часть наносят на подложку, фиксируют этиловым спиртом и высушивают под инфракрасной лампой.

Удельную суммарную альфа- и бета-активность приготовленного счетного образца измеряют на альфа-бета-радиометре УМФ-2000 не ранее 3 и не позднее 10 часов после последнего прокалывания (для исключения влияния ^{222}Rn и ДПР). На следующий день процедуру прокалывания осадка и измерения удельной суммарной альфа- и бета-активности повторяют для контроля.

Методика определения удельных активностей природных радионуклидов в воде предусматривает концентрирование пробы воды (выпаривание 10 кг до 1 кг). Из полученного концентрата пробы проводят осаждение изотопов радия с носителем (хлористый барий) серной кислотой в форме BaSO_4 , который является счетным образцом для измерения активности ^{226}Ra и ^{224}Ra . ^{228}Ra определяют по дочернему ^{228}Ac , который осаждают с носителем (хлористый

лантан) в виде $\text{La}(\text{OH})_3$. После последующего прокаливания полученный $\text{La}_2\text{O}_3(^{228}\text{Ac})$ служит счетным образцом для измерения активности $^{228}\text{Ac}(^{228}\text{Ra})$.

Радиоактивные изотопы полония, висмута, свинца, урана и тория соосажают с гидроокисью железа с последующим их селективным выделением и определением:

- ^{210}Po и ^{210}Bi электролитически на никелевом диске, который является счетным образцом;
- ^{238}U по дочернему ^{234}Th , выделенному на носителе (хлористый иттрий) в виде оксалата, при прокаливании которого получают счетный образец $\text{Y}_2\text{O}_3(^{234}\text{Th})$ для измерения активности.

Для контроля неизбежных в процессе анализа потерь изотопов в исследуемую пробу на самом первом этапе ее обработки для каждого радионуклида добавляют известное количество носителя, в качестве которого используют солянокислые или азотнокислые соли соответствующих элементов. Отношение количества носителя, определенного на выходе, к количеству носителя, добавленного в пробу, дает величину химического выхода (т.е. полноту выделения) для каждого радионуклида.

Результаты исследования

В период с 1998 по 2009 г. был осуществлен отбор проб воды из артезианских скважин в г. Санкт-Петербурге и в населенных пунктах, расположенных на территории Ленинградской, Псковской и Новгородской областей, а также Республики Карелия. Пробы были доставлены в институт и проанализированы в соответствии с разработанной сотрудниками института методикой выполнения измерений [3]. В воде 127 проб были определены величины удельной суммарной альфа- и бета-активности. В воде 147 проб были определены величины удельной суммарной альфа- и бета-активности и удельных активностей ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U , ^{222}Rn , а также рассчитан показатель $\Sigma(A_i/U_{B_i})$. Максимальная ошибка определения показателей не превышала 50%.

Полученные величины удельной суммарной альфа- и бета-активности проб воды представлены в таблице 1. В верхней строке таблицы приведены средние значения, в нижней строке – диапазон значений.

Таблица 1

Удельная суммарная альфа- и бета-активность (A_α и A_β) проб воды исследованных артезианских скважин Северо-Западного региона России, Бк/кг

Территория	Число проб	A_α	A_β
Санкт-Петербург	83	0,20 0,03–3,3	0,44 0,02–5,1
Ленинградская область	157	0,59 0,02–12,6	0,41 0,02–6,3
Псковская область	25	0,25 0,08–0,40	0,36 0,12–0,59
Новгородская область	7	0,26 0,06–0,63	0,29 0,11–0,24
Республика Карелия	2	0,33 0,16–0,49	0,52 0,17–0,86
Северо-Западный регион (в целом)	274	0,43 0,02–12,6	0,41 0,02–6,3

Анализ представленных данных показал, что превышение критерия предварительной оценки качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности по удельной суммарной альфа-активности A_α (0,2 Бк/кг) было обнаружено для 41% проб обследованных территорий. При этом превышение установлено для 20% проб, отобранных на территории Санкт-Петербурга, 47% – Ленинградской, 67% – Псковской, 43% – Новгородской областей и для одной из двух проб, отобранных в Республике Карелия. Критерий предварительной оценки качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности по удельной суммарной бета-активности A_β (1 Бк/кг) был превышен только для обследованных артезианских скважин Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Превышение величины A_β было обнаружено для 6% проб, отобранных на указанных территориях.

Обнаружение в воде превышения приведенных в пункте 5.3.5 НРБ-99/2009 значений удельной суммарной альфа- и/или бета-активности не означает, что такая вода не соответствует требованиям радиационной безопасности. В таком случае необходимо провести расширенный анализ воды с определением значений удельных активностей основных дозообразующих радионуклидов и расчет величины суммы отношений измеренных значений удельной активности радионуклидов в воде (A_i) к соответствующим уровням вмешательства (U_{B_i}).

При совместном присутствии в питьевой воде нескольких радионуклидов, как природных, так и техногенных (в районах техногенного загрязнения), в соответствии с НРБ-99/2009 должно выполняться условие:

$$\Sigma(A_i/U_{B_i}) \leq 1,0 \quad (1)$$

Если данное условие соблюдается, то годовая эффективная доза внутреннего облучения населения от потребления питьевой воды не превысит 0,1 мЗв за год.

Результаты радиохимического определения удельных активностей основных дозообразующих радионуклидов и расчет величины показателя $\Sigma(A_i/U_{B_i})$ представлены в таблице 2.

Из представленных в таблице 2 данных следует, что средние величины удельной активности природных радионуклидов в водах скважин Северо-Западного региона России не превышают установленные для них U_{B_i} . При этом средние значения величины $\Sigma(A_i/U_{B_i})$ превышают 1 для большинства обследованных территорий. В таком случае защитные мероприятия по снижению содержания радионуклидов в питьевой воде должны осуществляться с учетом принципа оптимизации.

Диапазон значений удельной активности радионуклидов в воде обследованных артезианских скважин и диапазон величины показателя $\Sigma(A_i/U_{B_i})$ для каждой из обследованных территорий и для Северо-Западного региона в целом представлены в таблице 3. В верхней строке таблицы приведены минимальные значения, в нижней строке – максимальные значения.

Результаты, приведенные в таблице 3, свидетельствуют о том, что удельная активность природных радионуклидов в источниках водоснабжения Северо-Западного региона России варьирует в широком диапазоне. Наибольшее различие между минимальными и максимальными значениями удельной активности характерно для изотопов радия – в обследованных скважинах удельная активность ^{228}Ra

Таблица 2

Средняя удельная активность природных радионуклидов в пробах воды исследованных артезианских скважин Северо-Западного региона России (Бк/кг) и среднее значение $\Sigma(A_i/UB_i)$

Территория	^{226}Ra	^{224}Ra	^{228}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{238}U	^{222}Rn	$\Sigma(A_i/UB_i)$
Санкт-Петербург	0,18	0,018	0,10	0,004	0,002	0,070	23	0,96
Ленинградская область	0,42	0,034	0,10	0,006	0,004	0,022	60	2,1
Псковская область	0,094	0,062	0,040	0,004	0,004	0,011	5,7	0,50
Новгородская область	0,069	0,012	0,011	0,041	0,060	0,021	14	1,12
Республика Карелия	0,20	0,002	0,050	0,007	0,003	0,15	45	1,50
Северо-Западный регион (в целом)	0,30	0,033	0,084	0,007	0,005	0,040	45	1,65
УВ	0,49	2,1	0,2	0,2	0,11	3,0	60	1,0

Таблица 3

Диапазоны значений удельной активности природных радионуклидов в пробах воды исследованных скважин Северо-Западного региона России (Бк/кг)

Территория	^{226}Ra	^{224}Ra	^{228}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{238}U	^{222}Rn	$\Sigma(A_i/UB_i)$
Санкт-Петербург	0,006–1,25	0,002–0,19	0,003–1,0	0,002–0,015	0,002–0,007	0,003–0,55	5,0–95	0,07–6,5
Ленинградская область	0,009–10,8	0,002–0,42	0,003–3,1	0,002–0,030	0,002–0,060	0,002–0,20	0,50–1560	0,10–26
Псковская область	0,020–0,28	0,002–0,21	0,006–0,13	0,002–0,014	0,002–0,018	0,002–0,023	5–10	0,12–0,97
Новгородская область	0,017–0,19	0,002–0,028	0,002–0,023	0,002–0,16	0,002–0,24	0,013–0,028	5,0–26	0,18–2,70
Республика Карелия	0,020–1,25	0,002–0,002	0,003–0,28	0,003–0,020	0,002–0,010	0,060–0,81	5,0–95	0,22–4,30
Северо-Западный регион (в целом)	0,006–10,8	0,002–0,42	0,002–3,1	0,002–0,16	0,002–0,24	0,002–0,81	5,0–1560	0,07–26

различается в 1600 раз, ^{226}Ra – в 1800 раз. Для ^{210}Po и ^{210}Pb эта разница равна 100, для ^{238}U – 400, для ^{222}Rn – 300. Такое разнообразие радионуклидного состава подтверждает необходимость радиохимического обследования источников водоснабжения населения для осуществления корректного радиационного контроля питьевой воды.

Обсуждение результатов

В результате проведенных исследований было обнаружено, что превышение величины критерия предварительной оценки качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности по A_α характерно для 41% исследованных проб воды, отобранных на территории Северо-Западного региона России.

Результаты исследований показали, что при $A_\alpha \leq 0,2$ Бк/кг ни для одного из исследованных подземных источников водоснабжения Северо-Западного региона России не будет нарушено условие (1), соответственно, дозы внутреннего облучения населения за счет потребления воды из таких скважин не превысят рекомендованный международными нормативными документами [4] дозовый уровень 0,1 мЗв/год.

Диапазоны суммарных эффективных доз облучения населения Северо-Западного региона России за счет потребления питьевой воды при различных величинах удельной суммарной альфа-активности приведены в таблице 4.

При $A_\alpha \leq 0,5$ Бк/кг следует ожидать, что условие (1) может быть нарушено приблизительно для 9% подземных источников водоснабжения Северо-Западного региона России. Соответственно, дозы облучения населения реги-

она за счет потребления питьевой воды из артезианских скважин, величина удельной суммарной альфа-активности воды из которых превышает 0,5 Бк/кг, в 9% случаев могут превысить рекомендованный международными документами [4] дозовый уровень 0,1 мЗв/год.

Данные по количеству превышений величин гигиенических критериев оценки соответствия питьевой воды показателям радиационной безопасности для исследованных проб питьевой воды, отобранных из артезианских скважин Северо-Западного региона, представлены в таблице 5.

Таблица 4

Диапазон суммарных эффективных доз облучения (СГЭД) населения Северо-Западного региона России за счет потребления питьевой воды при различных величинах удельной суммарной альфа-активности

Значение величины A_α	% случаев превышений условия $\Sigma(A_i/UB_i) \leq 1,0$	Диапазон СГЭД за счет потребления питьевой воды, мЗв/год
$A_\alpha \leq 0,1$	0	0,013–0,077
$0,1 < A_\alpha \leq 0,2$	0	0,022–0,095
$0,2 < A_\alpha \leq 0,3$	7,7	0,034–0,140
$0,3 < A_\alpha \leq 0,4$	8,0	0,064–0,140
$0,4 < A_\alpha \leq 0,5$	8,5	0,070–0,190
$0,5 < A_\alpha \leq 1,0$	8,8	0,070–0,270

Таблица 5

**Радиационные показатели питьевой воды
Северо-Западного региона России**

Радионуклид, показатель	% от числа проб	
	Критерии соответствия не превышены	Критерии соответствия превышены
^{226}Ra	89	11
^{228}Ra	93	7
^{210}Po	98	2
^{222}Rn	82	18
^{210}Pb , ^{224}Ra , ^{238}U	100	—
$\Sigma(A_i/UB_i)$	69	31

Из представленных в таблице 5 данных очевидно, что основной вклад в число превышений величин UB_i , а значит условия (1) вносят три радионуклида: ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{222}Rn . Однако при этом не исключены и случаи превышения величин UB_i , обусловленные присутствием в воде других дозообразующих радионуклидов, например, обнаружено превышение величины UB_i для ^{210}Po в воде артезианской скважины, расположенной на территории Новгородской области. Превышений величин UB_i для ^{224}Ra , ^{210}Pb и ^{238}U выявлено не было.

На рисунке 1 представлен вклад числа превышений пределов, регламентированных НРБ-99/2009 для основных дозообразующих радионуклидов в общее число превышений, обнаруженных в результате радиохимического анализа проб питьевой воды, отобранных в Северо-Западном регионе России. В результате проведенных исследований было обнаружено, что значительный вклад (46%) в общее число превышений величин гигиенических критериев оценки соответствия питьевой воды показателям радиационной безопасности и, соответственно, в дозу внутреннего облучения населения за счет питьевой воды вносит ^{222}Rn .

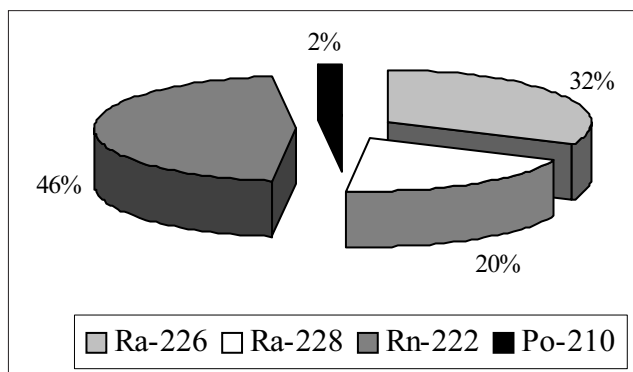


Рис. 1. Вклад числа превышений величин UB_i , приведенных в НРБ-99/2009, за счет различных радионуклидов в общее число случаев превышений UB_i

Содержанием в воде скважин Северо-Западного региона изотопов радия (^{226}Ra и ^{228}Ra) обусловлено 52% превышений величин гигиенических критериев оценки соответствия питьевой воды показателям радиационной безопасности, причем основной вклад (32%) в число этих превышений вносит ^{226}Ra .

На территории Северо-Западного региона был обнаружен случай превышения в воде скважины величины UB_i , установленной для ^{210}Po . Измеренное значение A_a в воде данной скважины составило 0,26 Бк/кг, удельная активность изотопов радия и урана не превышала десятых долей от величин соответствующих уровней вмешательства, измеренное значение удельной активности ^{210}Po составило 0,24 Бк/кг. Соотношение удельных активностей $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ оказалось равным 4:1 при типичном для Северо-Западного региона соотношении 1:2. Оценочное значение среднегодовой эффективной дозы облучения населения за счет потребления питьевой воды из указанной скважины составило 0,3 мЗв/год.

Полученные данные свидетельствуют о вероятном наличии на территории региона скважин, попавших в зону влияния эманулирующих тектонических структур, обуславливающих обогащение воды ^{210}Po [5]. Для таких скважин изотопом, вносящим основной вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения за счет потребления питьевой воды, является ^{210}Po , который относят к самым жестко нормируемым α -излучателям.

В таблице 6 приведены средние годовые эффективные дозы (СГЭД) внутреннего облучения населения при условии постоянного потребления питьевой воды из обследованных скважин. В верхней строке таблицы приведены средние значения, в нижней строке – диапазон значений.

Таблица 6

**Средние годовые эффективные дозы
внутреннего облучения населения при условии
постоянного потребления питьевой воды
из обследованных скважин**

Территория	СГЭД, мЗв/год
Санкт-Петербург	0,11 0,01–0,75
Ленинградская область	0,24 0,01–3,0
Псковская область	0,06 0,01–0,11
Новгородская область	0,13 0,03–0,3
Республика Карелия	0,17 0,03–0,50
Северо-Западный регион (в целом)	0,19 0,01–3,0

Оценка доз выполнена с учетом ошибки измерений – в соответствии с МУ 2.6.1.1981-05 [2].

Выводы

1. Суммарная активность радионуклидов в воде источников питьевого водоснабжения Северо-Западного региона России в подавляющем большинстве случаев (98%) определяется изотопами радия (^{226}Ra и ^{228}Ra) и ^{222}Rn ;
2. СГЭД внутреннего облучения населения Северо-Западного региона России за счет постоянного потребления питьевой воды из обследованных скважин составляет 0,19 мЗв/год (с учетом ошибки измерений). Диапазон значений – 0,01–3,0 мЗв/год.

зон значений указанной величины находится в пределах 0,01–3,0 мЗв/год;

3. Суммарная эффективная доза внутреннего облучения населения за счет потребления питьевой воды из скважин Северо-Западного региона России не превысит 0,1 мЗв/год при условии $A_{\alpha} \leq 0,2$ Бк/кг.

Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): гигиенические нормативы (СП 2.6.1. 758-99 от 02.07.1999 г). – М. : Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.
2. Методические указания «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»: (МУ 2.6.1.1981-05). – М., 2005. – 34 с.

3. 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.
4. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. V. 1: 3rd ed. ISBN 92 4 154638 7. – Geneva, 2004. – P. 197–209.
5. Бахур, А.Е. Методические особенности контроля радиоактивности природных вод / А.Е. Бахур // АНРИ. – 1998. – № 4 (15). – С. 21–29.

M.V. Kaduka¹, N.S. Shvydko¹, V.N. Shutov¹, L.N. Basalaeva¹,
J.N. Goncharova¹, N.V. Salazkina¹, A.N. Kaduka²

Estimation of the population exposure doses from drinking-water consumption for the inhabitants of North-Eastern area of Russia

¹ Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Abstract. Data on natural radionuclides content in drinking-water of North-Eastern area of Russian Federation obtained in long-term investigations is presented; population internal exposure doses estimation from the drinking-water consumption is carried out for the inhabitants of the area.

Key words: natural radionuclides, radiochemical analysis, interventional levels, exposure doses from drinking-water consumption.

Поступила 16.10.2009

М.В. Кадука
E-mail: kaduka@mail.ru