

## Исследование сезонной и долгосрочной вариабельности удельной активности природных радионуклидов подземных вод

Ю.Н. Гончарова, Н.С. Швыдко, А.Н. Кадука

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

*В настоящей работе приведены данные об исследованиях сезонной и долгосрочной вариабельности показателей радиационной безопасности воды отдельных подземных водоисточников и системы централизованного водоснабжения г. Твери.*

Ключевые слова: *основные дозообразующие радионуклиды, сезонная вариабельность, долгосрочная вариабельность, радиохимический анализ, показатели радиационной безопасности.*

### Введение

Одной из важнейших задач питьевого водоснабжения жителей городских и сельских населенных пунктов является обеспечение качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Эта проблема наиболее остро стоит в тех регионах страны, где питьевое водоснабжение населения осуществляется природной водой подземных горизонтов, для которой характерным является повышенное содержание природных радионуклидов [1–6]. Суммарный объем используемой воды из подземных источников достигает примерно 30% от утвержденных запасов подземных вод, а их доля в суммарном водопотреблении населения составляет около 50%. В связи с тем, что в современном мире наблюдается рост антропогенной нагрузки на поверхностные источники водоснабжения (ежегодно степень загрязненности поверхностных вод увеличивается на 10%), в перспективе можно ожидать более интенсивного использования подземных природных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, поскольку эти источники являются наиболее защищенными от внешнего воздействия, в том числе и техногенного характера [3].

Почти в половине субъектов Российской Федерации обнаружены превышения критериев предварительной оценки допустимости использования воды для питьевых целей по удельной суммарной альфа- и/или бета-активности, установленных НРБ-99/2009 [3, 7–9]. Превышения уровней вмешательства (УВ), определенных Приложением 2а НРБ-99/2009 для природных радионуклидов, обнаружены в 24 субъектах Российской Федерации [3, 7, 8]. Этим обусловлена необходимость производственного контроля показателей радиационной безопасности воды источников питьевого водоснабжения населения.

В современных социально-экономических условиях требования к объему производственного контроля должны быть хорошо аргументированными, поскольку проведение такого контроля требует серьезных экономических затрат. Поэтому исследование по научному обоснованию критериев установления оптимального объема радиологического контроля источников питьевой воды является актуальным. Очевидно, что выбор таких критериев должен быть основан на реальных характеристиках сезонной

(в течение календарного года) и долгосрочной (на протяжении ряда последовательных лет) вариабельности удельной активности природных радионуклидов в источниках питьевого водоснабжения населения.

**Цель исследования** – исследование сезонной и долгосрочной вариабельности удельной активности природных радионуклидов в воде подземных источников питьевого водоснабжения населения.

### Материалы и методы

В качестве объекта исследования в данной работе выбраны отдельные подземные водоисточники и система централизованного водоснабжения г. Твери. Питьевое водоснабжение жителей г. Твери осуществляется из артезианских скважин Тверецкого и Медновского водозаборов, из которых вода после подготовки на Тверецкой водоочистной станции (ТВОС) подается в распределительную сеть, а также из одиночных скважин Городского водозабора с подачей воды непосредственно потребителю. Лишь для отдельных скважин этого водозабора установлены локальные станции водоочистки.

Анализ показателей радиационной безопасности воды из артезианских скважин и в различных точках распределительной сети проводился двумя аккредитованными лабораториями – радиохимической лабораторией ФБУН «Научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева» (определение значений суммарных показателей радиоактивности и удельной активности отдельных природных радионуклидов в пробах воды) и Производственной лабораторией контроля качества питьевой воды ООО «Тверь Водоканал» (определение суммарных показателей радиоактивности и удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в пробах воды).

Отбор проб, подготовку и измерение активности счетных образцов, а также обработку полученных результатов осуществляли с использованием малофонового альфа-бета-радиометра УМФ-2000 и гамма-спектрометра РГГ-02Т по методикам выполнения измерений, разработанным в ФБУН «Научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» [10–13].

В Производственной лаборатории контроля качества питьевой воды измерения удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  и удельной суммарной альфа- ( $A_\alpha$ ) и бета-активности ( $A_\beta$ ) также проводили с использованием метрологически аттестованных методик выполнения измерений (МВИ) [13–16].

Для оценки воспроизводимости и точности результатов измерений  $A_\alpha$  и  $A_\beta$  и удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  периодически отбирались пробы воды для проведения межлабораторных сличительных испытаний.

### Результаты и обсуждение

В течение 2007 г. был проведен анализ суммарных показателей радиоактивности с определением радионуклидного состава и удельной активности основных дозообразующих природных радионуклидов в 75 пробах воды артезианских скважин всех трех водозаборов и различных участков распределительной сети, в том числе ТВОС в месте подачи подготовленной воды в распределительную сеть. Одновременно проводился мониторинг суммарных показателей радиоактивности воды и удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде из 7 артезианских скважин трех водозаборов и одной уличной водоразборной колонки с отбором проб воды через каждые 10–15 дней.

Результаты мониторинга суммарных показателей радиоактивности и удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде отдельных артезианских скважин и распределительной сети не выявили достоверных сезонных изменений содержания природных радионуклидов в воде обследованных водоисточников. На рисунках 1 и 2 приведена динамика  $A_\alpha$  и удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде артезианской скважины № 12 Городского водозабора. На рисунке 1 результаты анализа нормированы относительно среднего значения показателя 2,97 Бк/кг за весь период мониторинга; на рисунке 2 результаты анализа нормированы относительно среднего значения показателя 47,1 Бк/кг за весь период мониторинга.

При рассмотрении полученных результатов для всех точек наблюдения сезонные изменения  $A_\alpha$  воды также не были достоверно выявлены (рис. 3). На рисунке 3 значения удельной суммарной активности, полученные для каждого из водоисточников, нормированы относительно среднего годового значения показателя за весь период мониторинга с последующим усреднением по всем точкам наблюдения.

Незначительными оказались сезонные изменения  $A_\beta$  и удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в воде исследуемых точек наблюдения. Для них максимальные отличия измеренных значений от среднегодовых оказались ниже 30% – неопределенности их определения в соответствие с МВИ [17,18].

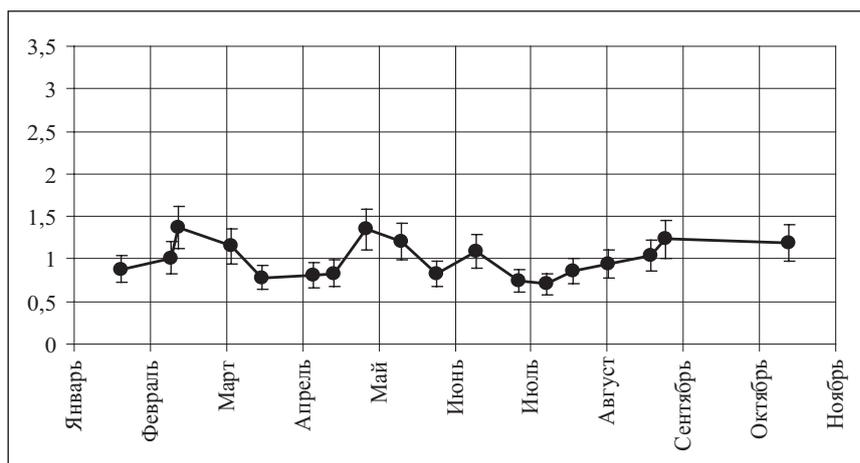


Рис. 1. Динамика  $A_\alpha$  в воде из скважины № 12 Городского водозабора

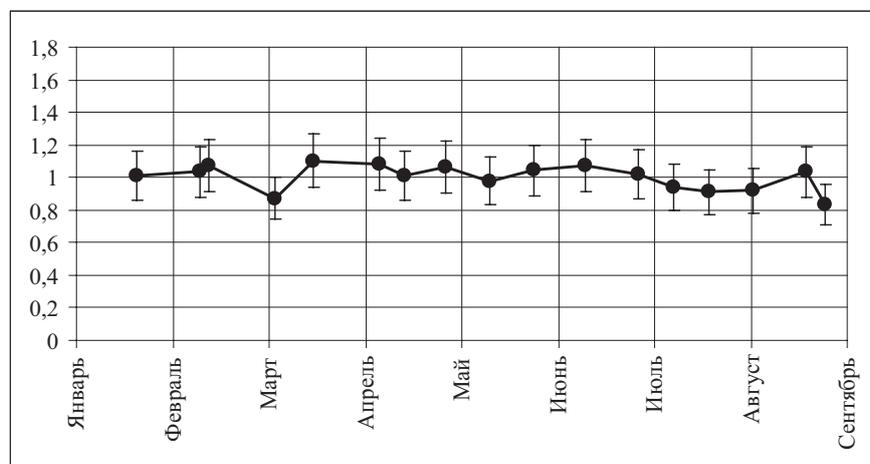


Рис. 2. Динамика удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде из скважины № 12 Городского водозабора

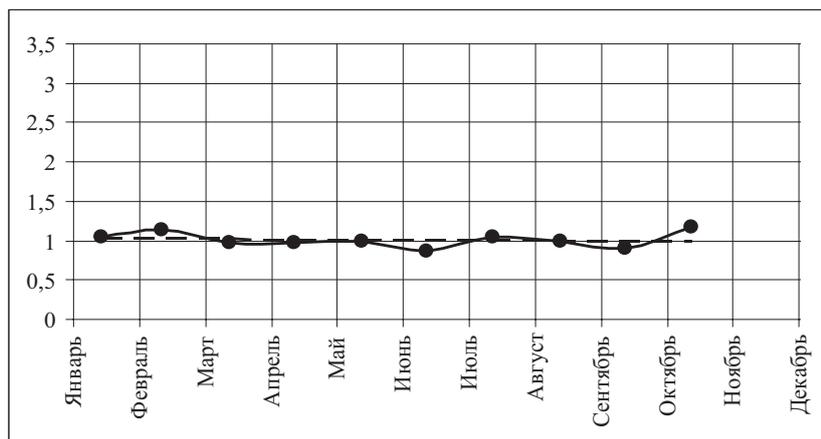


Рис. 3. Динамика  $A\alpha$  в воде артезианских скважин

Анализ результатов измерений содержания основных дозообразующих радионуклидов в воде отдельных артезианских скважин всех трех водозаборов, в разных точках распределительной сети и воде насосной ТВОС перед подачей в распределительную сеть, проведенных в 2007 г., показал, что основной вклад (более 90%) в суммарную годовую эффективную дозу (СГЭД) внутреннего облучения населения за счет содержания природных радионуклидов в питьевой воде вносят природные радионуклиды  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$  (рис. 4).

На основании полученных в 2007 г. результатов исследований была разработана программа производственного контроля за показателями радиационной безопасности питьевого водоснабжения жителей города Твери, которая включала изучение сезонной и долгосрочной вариабельности удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$  (основных дозообразующих радионуклидов) в воде отдельных артезианских скважин, распределительной сети и насосной ТВОС. За период 2007–2011 гг. более чем в 300 пробах воды были проведены измерения суммарных показателей и удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$ .

$A\alpha$  воды перед подачей ее в распределительную сеть характеризуется достаточно высокой стабильностью как в течение каждого года, так и на протяжении пяти лет ведения наблюдений (рис. 5). Если рассматривать значения показателя в течение разных лет, то максимальное отличие его среднемесячного значения относительно среднего значения за тот же год не превышает относительную погрешность измерений – 30%. Примерно такая же стабильность характеризует значения показателя в одни и те же месяцы в разные годы. Если же рассматривать весь массив данных за весь период наблюдений, то различия между среднемесячными значениями показателя не превышают 10%, а между среднегодовыми – 18%.

Вариабельность удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в воде насосной ТВОС аналогична колебаниям  $A\alpha$  воды (см. рис. 5). Это обусловлено тем, что  $A\alpha$  воды артезианских скважин всех трех эксплуатируемых водозаборов практически целиком обусловлена присутствием в воде этого радионуклида [17, 18]. Анализ данных за весь период наблюдений показал, что различия между среднемесячными значениями удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  не превышают 17%, а между среднегодовыми – 13%.

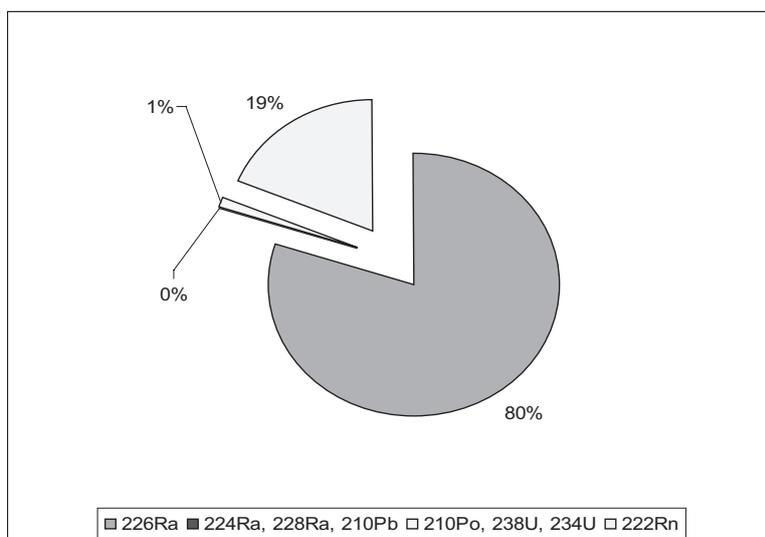


Рис. 4. Вклад основных дозообразующих радионуклидов в СГЭД внутреннего облучения населения г. Твери за счет потребления питьевой воды

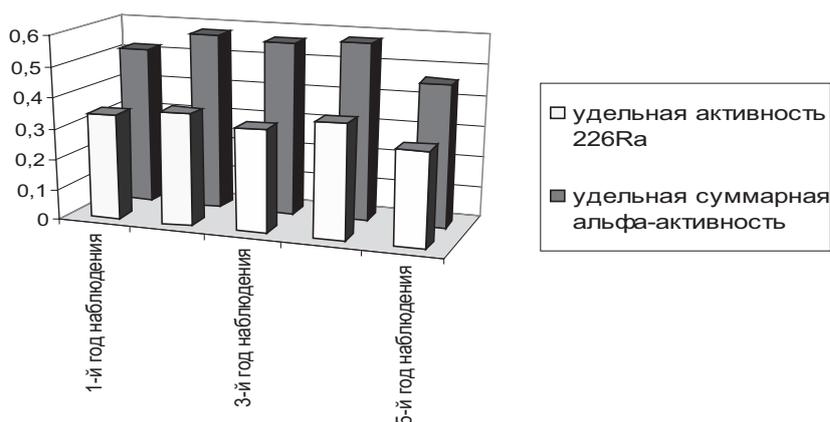


Рис. 5. Динамика  $A\alpha$  и удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в воде насосной ТВОС перед подачей в распределительную сеть за 2007–2011 гг., отн. ед.

Еще большей стабильностью характеризуется содержание  $^{222}\text{Rn}$  в воде насосной ТВОС (рис. 6).

Высокая стабильность удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде насосной ТВОС связана с тем, что на станции происходит смешивание воды из большого числа одновременно работающих артезианских скважин Тверецкого и Медновского водозаборов, при этом различия в содержании  $^{222}\text{Rn}$  в воде отдельных скважин сглаживаются за счет смешивания водных потоков из разных скважин. Кроме того, в процессе водоподготовки смешанной воды на ТВОС происходит заметное снижение удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде за счет его аэрирования.

Рассмотрим динамику удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $A\alpha$  воды отдельных скважин и различных точек распределительной сети. В качестве иллюстрации на рисунке 7 представлена динамика показателей радиационной безопасности воды одной из повысительных насосных станций. Значения показателей получены как среднее по результатам всех измерений в данной точке в течение соответствующего года, число измерений в каждой точке

наблюдения составляло от 1–2 до 4 в год. Максимальное отличие среднегодовых значений показателей от соответствующих средних значений за весь период наблюдения составило менее 30% для всех точек наблюдения.

Такая же высокая степень долгосрочной стабильности характерна для воды из отдельных артезианских скважин Тверецкого водозабора (рис. 8, 9). Максимальное отличие среднегодовых значений всех показателей от соответствующих средних за весь период наблюдений не превышает 15% для всех точек наблюдения.

Для воды из скважин Медновского водозабора (табл. 1) максимальное отличие среднегодовых значений от соответствующих средних за весь период наблюдений составило: для  $A\alpha$  – 51%; для  $^{226}\text{Ra}$  – 23%; для  $^{222}\text{Rn}$  – 35%.

Еще меньшей вариабельностью характеризуются показатели радиационной безопасности воды из артезианских скважин Городского водозабора. Максимальное отличие среднегодовых значений от соответствующих средних за весь период наблюдений составило: для  $A\alpha$  – 35%; для  $^{226}\text{Ra}$  – 19%; для  $^{222}\text{Rn}$  – 41% (табл. 2).

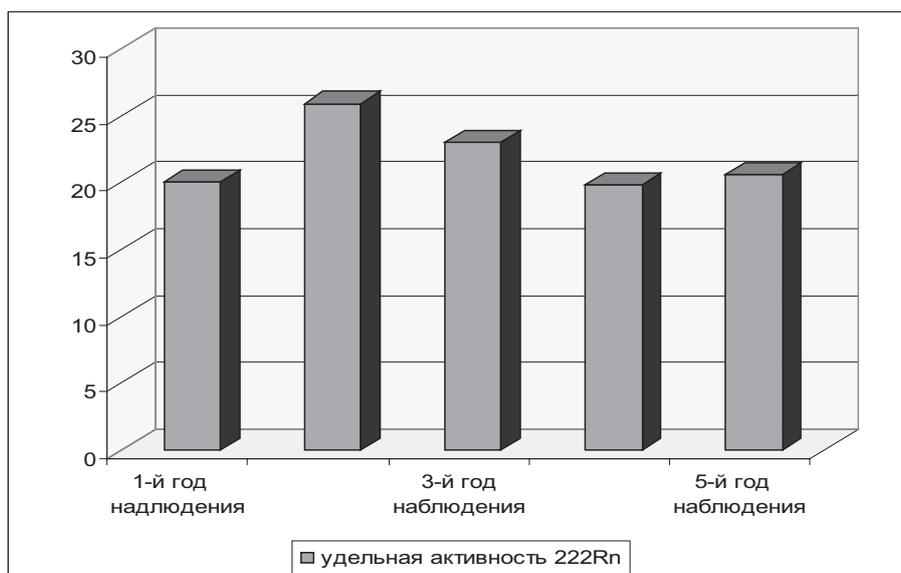


Рис. 6. Динамика удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде насосной ТВОС перед подачей в распределительную сеть за 2007–2011 гг., Бк/кг

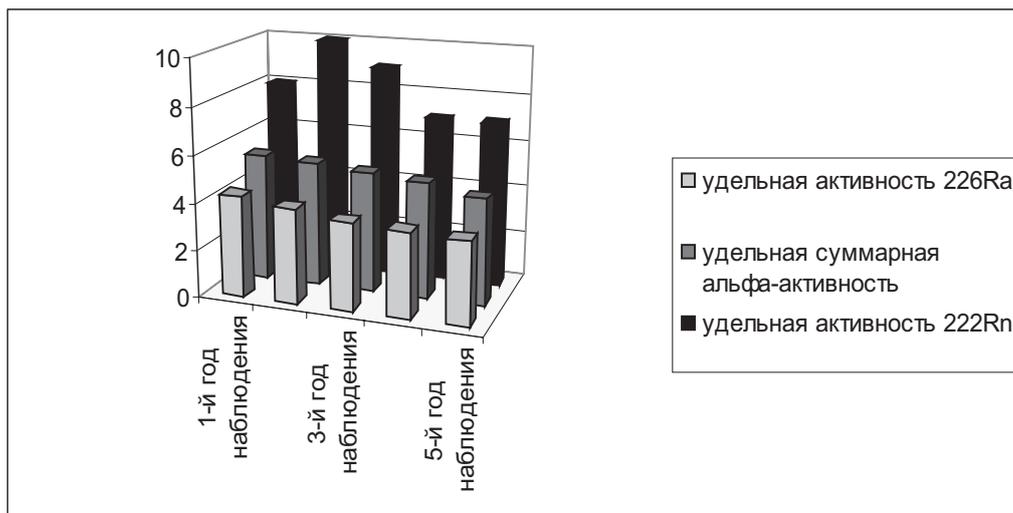


Рис. 7. Динамика показателей радиационной безопасности воды в распределительной сети (повысительная насосная станция) за 2007–2011 гг., отн. ед.

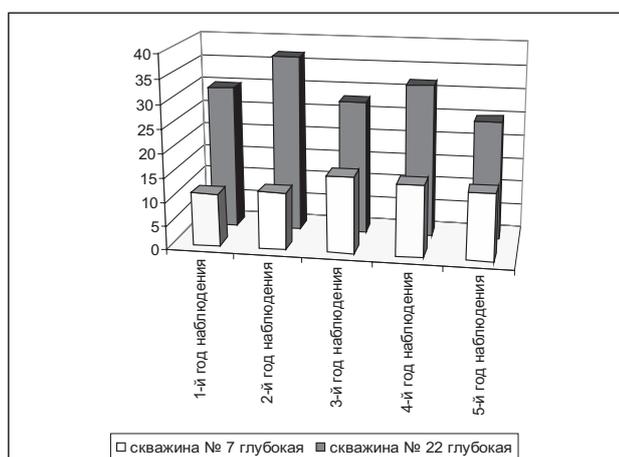


Рис. 8. Динамика удельной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде скважин Тверецкого водозабора за 2007–2011 гг., отн. ед.

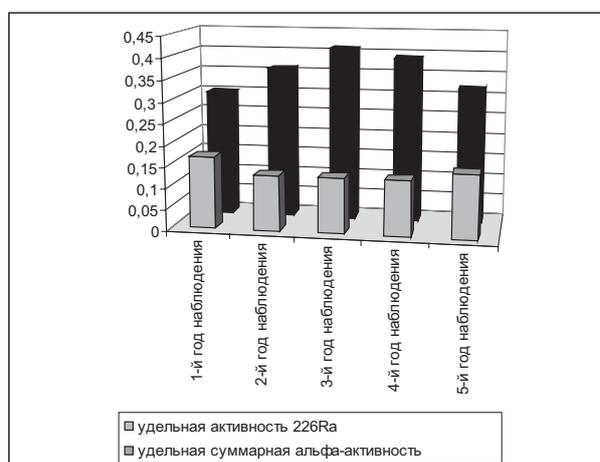


Рис. 9. Динамика  $A\alpha$  и удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в воде скважины № 9 Тверецкого водозабора за 2007–2011 гг., мелкая, отн. ед.

Таблица 1

Динамика показателей радиационной безопасности воды отдельных артезианских скважин Медновского водозабора, Бк/кг

№№ скважин	Удельная активность	Результаты измерений по годам					Среднее за 2007–2011 гг.
		2007	2008	2009	2010	2011	
№ 27 глубокая	$A\alpha$	0,87	2,17	1,74	1,56	1,35	1,54±0,21
	$^{226}\text{Ra}$	0,71	0,70	0,74	0,74	0,78	0,73±0,01
	$^{222}\text{Rn}$	20	32	30	19	29	26±3
№ 26 глубокая	$A\alpha$	1,00	2,80	1,97	1,85	1,61	1,85±0,30
	$^{226}\text{Ra}$	0,90	0,91	0,96	1,01	0,86	0,93±0,03
	$^{222}\text{Rn}$	19	34	26	28	28	27±2
№ 28 мелкая	$A\alpha$	0,95	2,02	1,55	1,52	1,43	1,49±0,17
	$^{226}\text{Ra}$	0,77	0,76	0,72	0,65	0,67	0,71±0,02
	$^{222}\text{Rn}$	40	49	46	45	47	45±2
№ 25 мелкая	$A\alpha$	0,86	1,15	1,49	0,82	1,07	1,08±0,12
	$^{226}\text{Ra}$	0,76	0,57	0,75	0,65	0,50	0,65±0,05
	$^{222}\text{Rn}$	25	47	45	37	37	38±4

Таблица 2

Динамика показателей радиационной безопасности воды  
одиночных артезианских скважин Городского водозабора, Бк/кг

№№ скважин	Удельная активность	Результаты измерений по годам					Среднее за 2007–2011 гг.
		2007	2008	2009	2010	2011	
№ 68	$A\alpha$	0,98	0,49	0,69	0,80	0,79	0,75±0,08
	$^{226}\text{Ra}$	0,38	0,32	0,35	0,42	0,45	0,36±0,03
	$^{222}\text{Rn}$	26	50	51	47	45	44±5
№ 60	$A\alpha$	0,65	0,92	1,10	1,10	0,83	0,92±0,17
	$^{226}\text{Ra}$	0,47	0,63	0,59	0,64	0,59	0,58±0,03
	$^{222}\text{Rn}$	15	25	21	22	18	20±2
№ 30	$A\alpha$	0,55	0,75	1,01	0,85	0,73	0,78±0,08
	$^{226}\text{Ra}$	0,37	0,44	0,43	0,40	0,44	0,42±0,01
	$^{222}\text{Rn}$	20	30	31	18	21	24±3

### Выводы

1. Исследования сезонных колебаний показателей радиационной безопасности воды из всех обследованных точек системы водоснабжения г. Твери не обнаружили достоверных изменений содержания природных радионуклидов.

2. Наибольшей стабильностью характеризуются показатели радиационной безопасности воды из артезианских скважин Городского водозабора, имеющих большую глубину и эксплуатирующиеся в постоянном режиме в течение года.

3. Исследования долгосрочных колебаний показателей радиационной безопасности воды из всех обследованных точек системы водоснабжения г. Твери не обнаружили достоверных изменений содержания природных радионуклидов. Это наблюдается как для среднемесячных значений удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$ , вклад которых в СГЭД внутреннего облучения населения за счет содержания природных радионуклидов в питьевой воде составляет более 90%, за разные годы, так и для их среднегодовых значений.

4. Наибольший разброс значений характерен для  $A\alpha$  воды всех обследованных точек системы водоснабжения г. Твери.

5. Результаты исследований позволили оптимизировать производственный радиационный контроль питьевой воды ООО «Тверь Водоканал», установив оптимальный объем контроля за содержанием основных дозообразующих радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$ , достаточный для достоверной оценки соответствия воды, подаваемой населению, требованиям радиационной безопасности и оценки СГЭД внутреннего облучения населения за счет потребления питьевой.

### Литература

- Тутельян, О.Е. Гигиеническое обеспечение радиационной безопасности питьевой воды : автореф. дис. канд. мед. наук / О.Е. Тутельян. – М.: Российская медицинская академия последипломного образования и Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 29 с.
- Гончарова, Ю.Н. Соответствие воды источников питьевого водоснабжения Северо-Западного региона России требованиям радиационной безопасности / Ю.Н. Гончарова // Материалы конференции «Гигиенические и медико-

профилактические технологии управления рисками здоровью населения». – Пермь, 2011. – С. 448–451.

- Гончарова, Ю.Н. Оценка доз внутреннего облучения населения различных регионов Российской Федерации природными и техногенными радионуклидами за счет потребления питьевой воды / Ю.Н. Гончарова [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 2. – С. 39–44.
- Botezatu, E. Contribution of the dietary ingestion to the natural radiation exposure of Romanian population / E. Botezatu // J. Hyg. Public Health. – 1994. – № 44 (1–2). – P. 19–21.
- Bradley, E.J. National radionuclides in environmental media / E.J. Bradley // Contract Report: NRPB-M439. – 1993. – 54 p.
- Muth, H. The normal radium content and the  $^{226}\text{Ra}/\text{Ca}$  ratio of various food, drinking water and different organs and tissues of the human body / H. Muth [et al.] // Health Phys. – 1960. – № 2. – P. 239–245.
- Источники и эффекты ионизирующего излучения: Отчет НКДАР ООН, 2000 года Генеральной Ассамблее с научными приложениями. Т. 1: Источники (часть 1): Пер. с англ. [под ред. Акад. РАМН Л.А.Ильина и проф. С.П. Ярмоненко]. – М.: РАДЭКОН, 2002. – 308 с.
- Барковский, А.Н. Информационный сборник «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2008 году» / А.Н. Барковский [и др.]. – СПб, 2009. – 69 с.
- Барышков, Н.К. Информационный сборник «Дозы облучения населения Российской Федерации в 2009 году» / Н.К. Барышков [и др.]. – СПб, 2010. – 67 с.
- Санитарные правила и нормы (2.6.1.2523-09). Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009.
- МВИ удельной активности радионуклидов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  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 26.12.2007 г. – 42 с.
- МВИ Удельная активность  $^{222}\text{Rn}$  в воде, свидетельство ФГУП «ВНИИМ им Д.И. Менделеева» Федерального государственного агентства по техническому регулированию и метрологии № 1058/07 от 18.10.2007г.
- Методические рекомендации «Отбор и подготовка проб питьевой воды для определения показателей радиационной безопасности»: (0100/13609-07-34). – Введ. 27.12.2007. – М.: Федеральная служба по надзору в сфе-

- ре защиты прав потребителей и благополучия человека, 2007. – 2.6.1.: Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. – 17 с.
14. Методика измерения активности  $^{222}\text{Rn}$  в воде с использованием сцинтилляционного гамма – спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Свидетельство об аттестации № 40090.8K212 от 30.07.2005.
15. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета – спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Свидетельство об аттестации № 40090.4Г006 от 29.03.2004.
16. Методика измерения суммарной альфа – активности с использованием сцинтилляционного альфа – радиометра с программным обеспечением «Прогресс». Свидетельство об аттестации № 40090.5И665 от 28.07.2005
17. Стамат, И.П. Организация и проведение комплексного радиационно-гигиенического обследования системы водоснабжения г. Тверь / И. П. Стамат [и др.]. – СПб, 2007. – 117 с.
18. Ступина, В.В. Сезонные изменения суммарных показателей и содержания радона в воде артезианских / В.В. Ступина [и др.] // Сб. тезисов международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 сентября 2008. – С. 138–140.

---

**Yu.N. Goncharova, N.S. Shvidko, A.N. Kaduka**

**Investigation of season and long-term variations of natural radionuclides specific activity in underground water**

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

*Abstract: An article contains the data on the investigations of season and long-term variations of radiation safety indexes of the water of some underground sources and centralized water-supply system of Tver city.*

*Key words: main dose forming radionuclides, season variation, long-term variation, radiochemical analysis, radiation safety indexes.*

Поступила: 11.02.2013 г.

Ю.Н. Гончарова  
E-mail: yu\_goncharova@mail.ru