

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РОДНИКАХ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА И СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Семенищев В.С., Воронина А.В., Томашова Л.А., Черепанова М.А., Насонова Ю.И.  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России  
Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
e-mail: vovius82@mail.ru

**Ключевые слова:** радон, уран, торий, радий, родники, питьевая вода, доза.

*В работе определены активности природных радионуклидов в воде 31 родника Свердловской области. Удельные активности  $^{222}\text{Rn}$  варьировались от 2,4 до 161 Бк/л, обеспечивая среднегодовую дозу внутреннего облучения 0,27 мЗв (0,02–1,18 мЗв). Вода из семи источников превышала российский уровень вмешательства (60 Бк/л), а три из них превышали нормативный уровень ВОЗ (100 Бк/л). Максимальные активности  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  составляли 0,124 Бк/л (4,1% от максимально допустимого предела) и 0,005 Бк / л (0,8% от максимально допустимого предела) соответственно; таким образом, негативное влияние радионуклидов в родниковой воде было незначительным. В воде из семи родников, содержащих наибольшие активности радона, были определены удельные активности  $^{226}\text{Ra}$ ; соответствующие значения варьировались от 0,1 до 0,87 мБк/л, обеспечивая годовые дозы от 0,02 до 0,18 мкЗв/год.*

## DETERMINATION OF WATER QUALITY IN SPRINGS OF YEKATERINBURG CITY AND SVERDLOVSK REGION

Semenishchev V.S., Voronina A.V., Tomashova L.A., Cherepanova M.A., Nasonova Yu.I.  
First President of Russia B.N. Yeltsin Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia e-mail:  
vovius82@mail.ru

**Keywords:** radon, uranium, thorium, radium, springs, drinking water, doze.

*The work was aimed to determine activity concentrations of natural radionuclides in natural water from 31 springs of Sverdlovsk region, Middle Urals, Russia. Activity concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  varied from 2.4 to 161 Bq L<sup>-1</sup> providing the average annual internal irradiation dose of 0.27 mSv (0.02 – 1.18 mSv). Water from seven springs exceeded Russian national norms (60 Bq L<sup>-1</sup>) and three of them exceeded WHO guidance level (100 Bq L<sup>-1</sup>). The maximal activities of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  were 0.124 Bq L<sup>-1</sup> (4.1% of maximal allowed limit) and 0.005 Bq L<sup>-1</sup> (0.8% of maximal allowed limit) respectively; thus, the danger of these radionuclides presence in spring water was insignificant. No correlation between activities of  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{232}\text{Th}$  or  $^{238}\text{U}$  were found. Activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$  were determined in water from seven springs containing the highest activities of radon; the respective values varied from 0.1 to 0.87 mBq L<sup>-1</sup> providing annual doses of 0.02 to 0.18  $\mu\text{Sv y}^{-1}$ .*

## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на интенсивное развитие в России централизованных систем водоснабжения, нецентрализованные источники питьевой воды, такие как родники и колодцы, по-прежнему занимают важное место в питьевом водоснабжении как в небольших населенных пунктах, так и даже в крупных городах. Среди населения широко распространено мнение, что родниковая вода заведомо чистая благодаря ее «естественному» происхождению, однако фактически она может содержать широкий спектр поллютантов, включая патогенные бактерии [1], нефтепродукты [2], тяжелые металлы [3], ионные формы азота [4], а также естественные радионуклиды [5, 6]. Как правило, наиболее высокие концентрации активности характерны для  $^{222}\text{Rn}$  среди природных радионуклидов [7–9]. С

другой стороны, радон, являясь инертным газом, влияет на здоровье человека иначе, чем другие радионуклиды. Поэтому регулирующие органы многих стран обращают особое внимание на пределы активности концентрации  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде, особенно в случае происхождения питьевой воды из подземных источников. В различных странах допустимые пределы содержания  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде в значительном диапазоне от 11,1 Бк/л (США) до 1000 Бк/л (Финляндия), тогда как некоторые страны, такие как Ямайка, Босния и Герцеговина, вообще не ограничивают содержание радона в питьевой воде. В России уровень вмешательства по содержанию  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде установлен на уровне 60 Бк/л, а рекомендованный Всемирной организацией здравоохранения уровень составляет 100 Бк/л. Целью данной работы был анализ содержания природных радионуклидов ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$ ) в воде некоторых родников города Екатеринбурга и Свердловской области.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В данной работе была отобрана и проанализирована вода из 20 источников, расположенных на территории города Екатеринбурга (код А), а также из 11 источников, расположенных в Свердловской области за пределами города Екатеринбурга (код В). Расположение источников показано на рис. 1. Среди испытанных источников Свердловской области четыре источника (Б5, Б9 – В11) расположены в районе санатория Обуховское, одного из старейших курортов Среднего Урала с минеральными источниками. Пробы воды перед измерением выдерживали в герметичных полипропиленовых бутылках емкостью 1,5–5 л в течение как минимум 3–5 ч (как правило, 12–20 ч) для установления радиоактивного равновесия радона с короткоживущими дочерними радионуклидами ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{218}\text{At}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$ ). Активность радона в пробах измеряли на сцинтилляционном гамма-бета-спектрометре «Атомтех МКС–1315 АТ» по линии равновесного дочернего гамма-излучающего изотопа  $^{214}\text{Bi}$  ( $E = 609$  кэВ) в стандартной геометрии Маринелли (1 л). Концентрации урана и тория в воде определяли на масс-спектрометре NexION 350 (Perkin Elmer, США), после чего по концентрации рассчитывали удельную активность  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Определение  $^{226}\text{Ra}$  в воде источников проводилось по следующей схеме. Пробу воды объемом 5 л отбирали в пластиковую бутылку и пропускали через колонку объемом 4 мл с сорбентом Т-5 (гидратированный диоксид титана, производства компании Термоксид, Россия) при скорости потока 0,3 л/ч для концентрирования радия. Затем радий вымывали из колонки 1М раствором HCl. Раствор упаривали почти досуха, разбавляли дистиллированной водой и доводили pH до 6–7. Радий отделяли от раствора сорбентом  $\text{MnO}_2\text{-ПЭ}$  (тонкослойный диоксид марганца, нанесенный на полиэтилен), в результате чего получали тонкий источник альфа-излучения. Измерение конечного источника проводилось на альфа-спектрометре Мультирад-АС («Доза», Россия).

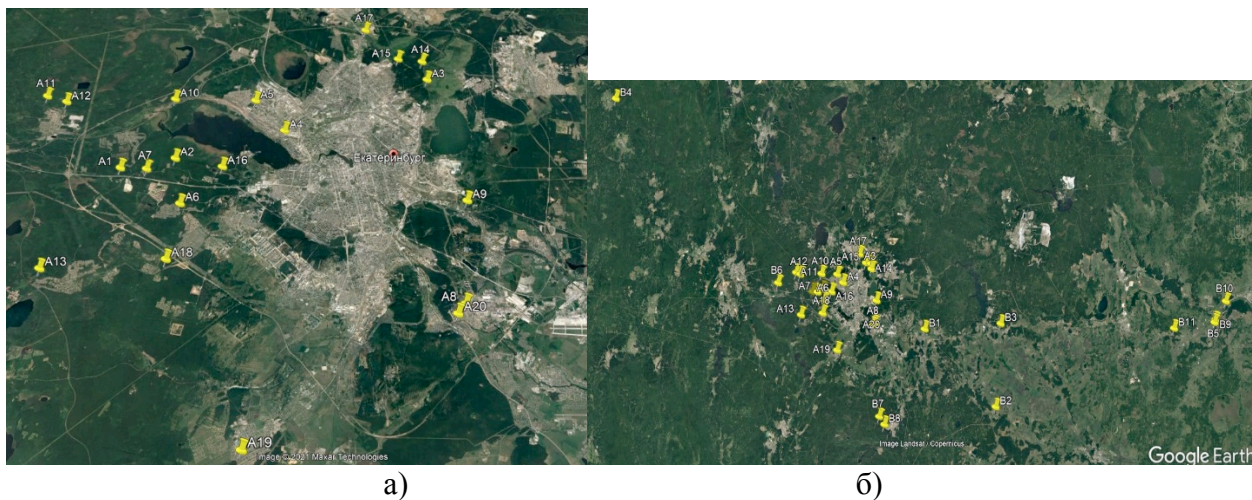


Рис. 1. Места отбора проб: а) в г. Екатеринбурга; б) г. Екатеринбург + Свердловская область.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

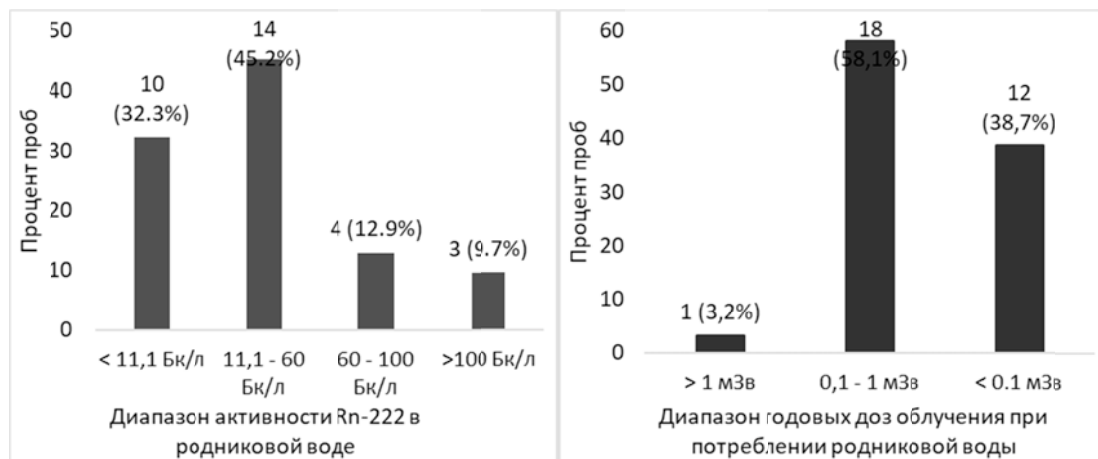
В табл. 1 приведены концентрации активности  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в воде из родников Екатеринбурга и Свердловской области. На рис. 2 представлено распределение активности радона в источниках по четырем категориям: <11,1 Бк/л (соответствует всем требованиям), 11,1–60 Бк/л (не соответствует требованиям США), 60–100 Бк/л (не соответствует российским требованиям) и > 100 Бк/л (превышает рекомендованный ВОЗ уровень). Среди исследованных родников вода в семи не соответствовала российским требованиям по уровню вмешательства  $^{222}\text{Rn}$  в питьевой воде (60 Бк/л), а в трех из них был превышен рекомендованный ВОЗ уровень (100 Бк/л). Только четырнадцать источников отвечают самым строгим требованиям к питьевой воде. Максимальная удельная активность  $^{222}\text{Rn}$  (161 Бк/л) была обнаружена в роднике А16. Таким образом, вода из 22 % родников оказалась непригодна для употребления в соответствии с российскими гигиеническими нормами.

**Табл. 1.** Результаты определения  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в родниках Свердловской области

Код родника	Тип родника*	Дата отбора пробы	Удельная активность радионуклида			Годовая доза внутреннего облучения при употреблении воды за счет:		
			$^{222}\text{Rn}$ , Бк/л	$^{238}\text{U}$ , мБк/л	$^{232}\text{Th}$ , мБк/л	$^{222}\text{Rn}$ , мЗв	$^{238}\text{U}$ , мкЗв	$^{232}\text{Th}$ , мкЗв
Родники г. Екатеринбурга								
A1	П	12.02.20	14.1	6.2	0.62	0.10	0.20	0.10
A2	П	12.02.20	<b>73.7</b>	2.1	0.02	0.54	0.07	0.00
A3	П	12.03.20	<b>60.9</b>	7.2	0.24	0.44	0.24	0.04
A4	П	19.03.20	<b>102</b>	4.1	0.06	0.74	0.13	0.01
A5	П	19.03.20	52.1	2.3	0.13	0.38	0.08	0.02
A6	П	26.03.20	11.1	7.0	< ПО**	0.08	0.23	<0.01
A7	П	27.05.20	51.3	1.1	0.78	0.37	0.04	0.13
A8	П	02.06.20	6.2	20.2	0.01	0.05	0.66	0.00
A9	П	02.06.20	<b>95.5</b>	10.4	0.02	0.70	0.34	0.00
A10	З	02.06.20	19.9	1.5	0.06	0.15	0.05	0.01
A11	П	02.06.20	<b>70.7</b>	2.7	0.04	0.52	0.09	0.01
A12	П	02.06.20	36.0	1.7	0.09	0.26	0.06	0.02
A13	З	07.06.20	35.9	0.8	0.69	0.26	0.03	0.12
A14	З	07.06.20	9.8	4.7	2.00	0.07	0.15	0.34
A15	П	07.06.20	10.9	12.4	1.78	0.08	0.41	0.30
A16	П	09.06.20	<b>161</b>	1.3	0.34	<b>1.18</b>	0.04	0.06
A17	П	09.06.20	11.4	13.1	2.35	0.08	0.43	0.39
A18	П	09.06.20	6.8	5.7	0.69	0.05	0.19	0.12
A19	З	09.06.20	26.8	6.8	1.32	0.20	0.22	0.22
A20	П	09.06.20	2.4	4.6	0.57	0.02	0.15	0.10
Родники Свердловской области за пределами Екатеринбурга								
B1	П	01.03.20	48.6	3.6	< ПО	0.35	0.12	<0.01
B2	З	27.05.20	17.2	124.1	4.58	0.13	4.08	0.77
B3	П	31.05.20	20.9	3.8	0.01	0.15	0.12	0.00
B4	П	07.06.20	36.6	35.2	5.00	0.27	1.16	0.84
B5	П	08.06.20	6.1	1.5	0.36	0.04	0.05	0.06
B6	П	10.06.20	7.4	81.2	0.06	0.05	2.67	0.01
B7	П	22.06.20	<b>113</b>	0.2	0.09	0.82	0.01	0.02
B8	З	22.06.20	24.7	8.1	1.13	0.18	0.27	0.19
B9	З	22.06.20	< ПО	0.4	0.14	<0.02	0.01	0.02
B10	З	22.06.20	< ПО	0.8	0.23	<0.02	0.03	0.04
B11	П	22.06.20	11	1.3	0.19	0.08	0.04	0.03

Примечание: \* П – проточная вода, З – застойная вода; \*\* ПО – предел обнаружения.

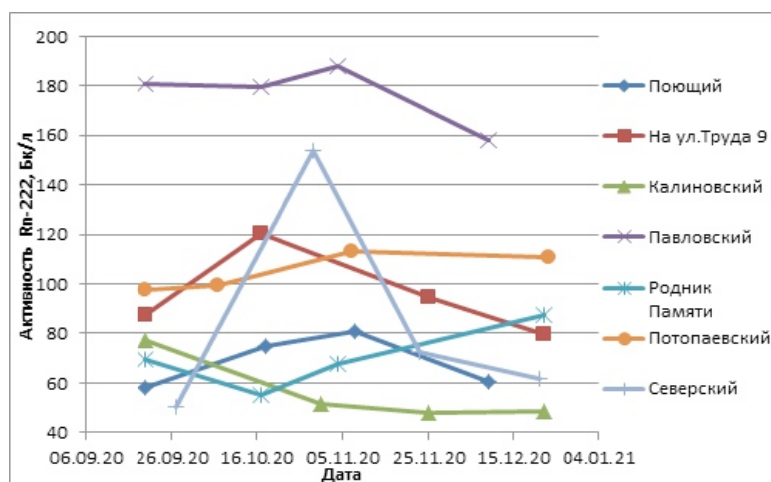
Согласно оценке годовых доз внутреннего облучения за счет потребления воды, один источник (А16) обеспечивал дозу более 1 мЗв/год, тогда как 18 источников обеспечивали годовую дозу в пределах 0,1–1 мЗв/год. Таким образом, всего 61 % протестированных источников обеспечили максимальную дозу, рекомендованную ВОЗ (0,1 мЗв / год) из-за повышенной активности  $^{222}\text{Rn}$ . Средняя годовая доза составила 0,27 мЗв.



**Рис.2.** Распределение активности радона и годовых доз от радона в воде родников.

Интересно, что средняя активность радона в источниках с застойной водой (З-тип в табл. 1) была почти в три раза ниже, чем в источниках с проточной водой (П-тип): средняя активность  $^{222}\text{Rn}$  в восьми источниках З-типа составила 17,5 Бк/л против 43,9 Бк/л в двадцати трех пружинах П-типа. Кроме того, максимальная активность  $^{222}\text{Rn}$  в источниках З-типа составила 35,9 Бк/л, таким образом, все они соответствуют российским требованиям по содержанию радона в питьевой воде. Данный факт можно легко объяснить интенсивным переносом радона из воды в атмосферу в застойной воде.

В течение осенне-зимнего сезона 2020 г. был проведен мониторинг содержания  $^{222}\text{Rn}$  в семи родниках, в которых по первоначальным данным было зафиксировано превышение уровня вмешательства по активности радона. Полученные экспериментальные данные приведены на рис. 2.



**Рис. 3.** Временных колебания активности  $^{222}\text{Rn}$  в родниках.

По данному графику можно сделать вывод, что для большинства родников сезонность незначительно влияет на активность радона. В ряде случаев отмечалось небольшое снижение активности при низких температурах, в частности, в роднике Калиновский (А3), с наступлением холодов активность радона упала до приемлемого уровня менее 60 Бк/л.

Самые сильные колебания активности радона наблюдались в роднике Северский (А11) – от 50 до 154 Бк/л. Наиболее вероятно, это связано с особенностями данного родника – низким дебетом и наличием застойной зоны.

В отличие от радона, концентрации активности урана и тория не превышали допустимых пределов во всех пробах воды. Удельные активности урана и тория не превышали установленных норм во всех родниках. Максимальная активность  $^{238}\text{U}$  составила 0,124 Бк/л (0,041 от уровня вмешательства), а  $^{232}\text{Th}$  – 0,005 Бк/л (0,008 от уровня вмешательства). Соответствующие максимальные годовые дозы внутреннего облучения из-за потребления воды составили 4,1 мкЗв/год для  $^{238}\text{U}$  в воде и 0,84 мкЗв/год для  $^{232}\text{Th}$ , что значительно ниже максимальной дозы, рекомендованной ВОЗ (1000 мкЗв/год). Таким образом, наличие урана и тория в родниковых водах Свердловской области не дает существенного вклада в дозу внутреннего облучения при употреблении воды.

Girault и др. [10] показали наличие значительной корреляции между активностями  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в подземных водах на основе анализа 2143 различных источников воды. В нашей работе определена активность  $^{226}\text{Ra}$  только в семи родниках с активностью  $^{222}\text{Rn}$  более 60 Бк/л, исходя из предположения, что максимальная активность радия должна быть в данных родниках. Результаты представлены в табл. 2.

**Табл. 2.** Активности  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в некоторых родниках Свердловской области

Код родника	Дата отбора пробы	Удельная активность $^{222}\text{Rn}$ , Бк/л	Удельная активность $^{226}\text{Ra}$ , Бк/л	Годовая доза внутреннего облучения при употреблении воды за счет $^{226}\text{Ra}$ , мкЗв
А2	17.10.2020	69.9 ± 6.0	0.25 ± 0.54	0.05
А3	28.01.2021	57.1 ± 1.6	0.72 ± 0.43	0.15
А4	28.01.2021	137.2 ± 11.0	0.14 ± 0.31	0.03
А9	08.11.2020	84.4 ± 4.3	0.24 ± 0.28	0.05
А11	21.12.2020	87.7 ± 6.0	0.62 ± 0.27	0.13
А16	10.02.2021	156.3 ± 6.8	0.87 ± 0.28	0.18
В7	07.10.2020	121.6 ± 8.1	0.10 ± 0.28	0.02

Результаты показали незначительную опасность из-за естественного содержания  $^{226}\text{Ra}$  в родниковых водах. Активности  $^{226}\text{Ra}$  во всех образцах были существенно ниже 1 МБк/л и отличались от нуля в пределах погрешности только в трех родниках. В соответствии с ожиданиями, максимальная активность радия  $0,87 \pm 0,28$  МБк / л была обнаружена в роднике с максимальной активностью радона. Рассчитанные годовые дозы внутреннего облучения в результате потребления радия с родниковой водой варьировались от 0,02 до 0,18 мкЗв/год со средним значением 0,09 мкЗв/год.

## ВЫВОДЫ

В рамках представленной работы определено содержание природных радионуклидов и химических поллютантов в 20 родниках г. Екатеринбурга и 11 родниках Свердловской области. Установлено, что удельные активности  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  не превышали установленных норм во всех обследованных родниках, тогда как в семи родниках зафиксировано превышение уровня вмешательства по  $^{222}\text{Rn}$ . Максимальная активность радона составила 161 Бк/л (родник А16). В воде из семи родников, с наибольшими активностями радона, были определены удельные активности  $^{226}\text{Ra}$ ; соответствующие значения варьировались от 0,1 до 0,87 МБк/л, обеспечивая годовые дозы от 0,02 до 0,18 мкЗв/год. В тех же семи родниках был проведен мониторинг содержания  $^{222}\text{Rn}$  в течение осенне-зимнего сезона 2020 года. Показано, что для большинства родников сезонность незначительно влияет на активность радона, хотя в ряде случаев отмечалось небольшое снижение активности при низких

температурах. Наиболее сильные колебания активности радона наблюдались в роднике А11 – от 50 до 154 Бк/л, что связано с особенностями данного родника – низким дебетом и наличием застойной зоны.

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках научного проекта № 20-43-660055.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ilić D., Palijan G.* Persistence of coliform bacteria in spring water microcosms // *Hrvatske Vode*. 2019. No 27(109). Pp. 193-200.
2. *Idrissova G.Z., Akhmedenov K.M., Sergeeva I.V., Ponomareva A.L., Sergeeva E.S.* Monitoring studies of the ecological state of springs in the Aktobe region in Western Kazakhstan // *J Pharm Sci and Res*. 2017. No. 9(7). Pp. 1122-1127.
3. *Jawadi H.A., Malistani H.A., Moheghy M.A., Sagin J.* Essential trace elements and arsenic in thermal springs, Afghanistan // *Water (Switzerland)*. 2021. No. 13(2). Pp. 134.
4. *Capraro F., Bizzotto A., Masiol M., Pavoni B.* Chemical analyses of spring waters and factor analysis to monitor the functioning of a karstic system. The role of precipitations regimen and anthropic pressures // *J Environ Monitor*. 2011. No. 13(9). Pp. 2543-2549.
5. *Erden P.E., Dirican A., Seferinoğlu M., Yeltepe E., Şahin N.K.*  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  and  $^{226}\text{Ra}$  concentrations in mineral waters and their contribution to the annual committed effective dose in Turkey // *J Radioanal Nucl Chem*. 2014. No. 301. Pp. 159–166.
6. *Chau N.D., Michalec B.* Natural radioactivity in bottled natural spring, mineral and therapeutic waters in Poland // *J Radioanal Nucl Chem*. 2009. No. 279. Pp. 121–129.
7. *Singla A.K., Kansal S., Mehra R.* Quantification of radon contamination in drinking water of Rajasthan, India // *J Radioanal Nucl Chem*. 2021. No. 327. Pp. 1149–1157.
8. *Nazir S., Simnani S., Sahoo B.K., Mishra R., Sharma T., Masood S.* Monitoring geothermal springs and groundwater of Pir Panjal, Jammu and Kashmir, for radon contamination // *J Radioanal Nucl Chem* 2020. No. 326. Pp. 1915–1923.
9. *Jobby V., Altitzoglou T., Malo P., Tanner V., Hult M.* A brief overview on radon measurements in drinking water // *J Environ Radioactiv*. 2017. No. 173. Pp. 18-24.
10. *Girault F., Perrier F., Przylibski T.A.* Radon-222 and radium-226 occurrence in water: a review // *Geological Society. Special Publications*. London, 2016. No. 451(1). Pp. 131-154.