

УДК 550.4:556.3.01

**ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ТРЕБОВАНИЯМ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ****Гонтарев М.В., Малов А.И.***ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики» РАН,  
Архангельск, e-mail: MKL9879@yandex.ru*

Оптимизация мероприятий по защите источников питьевого водоснабжения, содержащих повышенные количества радионуклидов, должна включать их ежегодный химический и радиационный контроль, а также гигиеническую оценку на соответствие качества подземных вод требованиям действующих государственных национальных и международных стандартов. В России суммарная альфа-активность питьевых и минеральных вод не должна быть выше 0,2 Бк/л. Мониторинг качества подземных вод выявил повышение суммарной альфа-активности изотопов урана до 0,7–1,2 Бк/л на пяти скважинах, расположенных в пределах территории Северо-Двинской впадины Мезенской синеклизы. Повышенная альфа-активность связана с расположением скважин вблизи восстановительного барьера в водоносном горизонте, на котором уран длительное время осаждался из подземных вод. При эксплуатации скважин в прифильтровой зоне создается окислительная обстановка, и сорбированный на частицах породы уран переходит в воду. При этом скорость его перехода в 3–4 раза выше, чем при непосредственном растворении пород. Однако оценочные расчеты показали, что эти воды можно использовать при условии ежегодного мониторинга их радиоизотопного состава.

**Ключевые слова:** альфа-активность, изотопы урана, минеральные воды, радиационная безопасность, Северо-Двинская впадина, уровень вмешательства

**ASSESSMENT OF MINERAL WATER CONFORMITY TO RADIATION SAFETY REQUIREMENTS****Gontarev M.V., Malov A.I.***Institute of Geodynamics and Geology of the Federal Center for Integrated Arctic Research RAS,  
Arkhangelsk, e-mail: MKL9879@yandex.ru*

Optimization of protective measures of sources of drinking water supply containing increased amounts of radionuclides should include their annual chemical and radiation monitoring, as well as hygienic assessment for compliance of groundwater quality with the requirements of existing national and international standards. In Russia, the total alpha activity of drinking and mineral waters should not be higher than 0,2 Bq/l. Monitoring of groundwater quality revealed an increase in the total alpha activity of uranium isotopes to 0,7–1,2 Bq/l in five wells located within the territory of the North Dvina depression of the Mezen syncline. Increased alpha activity is associated with the location of wells near the reducing barrier in the aquifer where uranium has been deposited for a long time from groundwater. When wells are operating, an oxidizing environment is produced in the zone near the filter of the boreholes and uranium is transferred to the water from particle surface of rock. In this case, the rate of its transition is 3–4 times higher than in the case of direct dissolution of rocks. However, calculations have shown that these waters can be used provided that their radioisotope composition is monitored annually.

**Keywords:** alpha-activity, uranium isotopes, mineral waters, radiation safety, Northern-Dvina depression, level of intervention

Исследование альфа- ( $\alpha$ ) активности минеральных подземных вод необходимо для оценки возможности их использования в бальнеологических целях.

По рекомендации Всемирной организации здравоохранения концентрация урана в питьевой воде не должна превышать 30 мкг/л ( $\sim 0,37$  Бк/л), активность  $^{234}\text{U}$  – 1 Бк/л [14]. В соответствии с Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 и СП 2.6.1.1292-2003 [1] объёмная суммарная  $\alpha$ -активность воды не должна превышать 0,2 Бк/л. В случаях превышения этой величины необходимы дополнительные исследования радиоизотопного состава, включающие предварительную оценку минеральных подземных вод на соответствие требованиям радиационной безопасности.

Согласно нормам вода признается безусловно соответствующей требованиям радиационной безопасности, если показатель  $\text{SUM}(A_i/\text{УВ}_i) \leq 1$ , где  $A_i$  – удельная активность  $i$ -го радионуклида в воде, Бк/кг;  $\text{УВ}_i$  – соответствующий уровень вмешательства для  $i$ -го радионуклида. Если при совместном присутствии в воде действующих источников питьевого водоснабжения для нескольких природных радионуклидов это условие превышено не более чем в 10 раз, то вода признается соответствующей требованиям радиационной безопасности при обязательном установлении производственного контроля за содержанием основных радионуклидов в воде.

Нами выполнена оценка возможности использования минеральных вод Севе-

ро-Двинской впадины, эксплуатируемых 17 скважинами и двумя источниками, на основании определений в воде  $\alpha$ -активностей чётных изотопов урана ( $^{238}\text{U}$ ;  $^{234}\text{U}$ ), УВ для них составляют 3,0 и 2,8 Бк/кг [3, с. 181; 4].

**Цель исследования:** оценить соответствие минеральных вод Северо-Двинской впадины требованиям радиационной безопасности.

### Материалы и методы исследования

Методика полевых исследований включает измерение основных физико-химических параметров воды, опробование и радиохимическую подготовку воды. Определения температуры ( $t$  в  $^{\circ}\text{C}$ ), реакции среды (pH), окислительно-восстановительного потенциала (Eh в мВ), общей минерализации (TDS в г/л), кислорода ( $\text{O}_2$  в мг/л) подземных вод производились непосредственно на самоизливающихся, реже – эксплуатируемых погружными насосами скважинах и источниках с использованием полевой экспресс-лаборатории Hanna Instruments с неопределенностью 0,1  $^{\circ}\text{C}$ , 0,05 единиц pH, 2%, 2%, 0,1 мг/л, соответственно. Пробы воды для определения ее химического состава фильтровали через фильтрующую насадку Миллекс, диаметр пор 0,45 мкм. Пробы на главные элементы и микроэлементы подкисляли 70% ОХЧ  $\text{HNO}_3$ . Радиохимическая подготовка минеральных подземных вод включала осаждение радионуклидов на специально подготовленный активированный уголь марки БАУ-А из водных проб объемом 20 литров.

Альфа-спектрометрия с определением изотопов  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  выполнялась в лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии ФГБУН ФИЦКИА РАН, Архангельск в соответствии с методикой ВИМС [7]. Согласно данной методике последовательно выполняется комплекс радиохимических операций, в их числе: переведение навески пробы в раствор; выделение  $\alpha$ -активных радиогенных элементов уран-ториевых рядов, с применением индикатора  $^{232}\text{U}$ ; отделение от мешающих радионуклидов; приготовление электролитическим способом препарата счётного образца и его последующее электролитическое осаждение на подложку из коррозионно-стойкой нержавеющей стали. Спектрометрическое детектирование  $\alpha$ -активных частиц осуществлялось с использованием альфа-спектрометра «Прогресс-альфа». Неопределенность измерений на приборе до 7–20%. Определение  $\alpha$ - и  $\beta$ -активных радионуклидов полония-210 и свинца-210 ( $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$ ) проводилось в соответствии с методикой [8]. Содержание урана (в мкг/л) определялось масс-спектрометрическим анализом с индуктивно связанной плазмой без предварительного концентрирования (ICP-MS) на приборе Agilent 7500 в лаборатории LMTG, Toulouse, France. Неопределенность измерений 2%. Щёлочность ( $\text{HCO}_3^-$  в мг/л) подземных вод устанавливалась методом потенциометрического титрования соляной кислотой на автоматизированном титраторе Metrohm 716 DMS Titrino с использованием Gran method с пределом обнаружения до  $10^{-5}$  М и неопределенностью при  $\geq 0,5$  ммоль/кг 1–3%, при  $< 0,5$  ммоль/кг 7%.

Таблица 1

Результаты исследований физико-химического состава минеральных подземных вод Северо-Двинской впадины за 2012–2014 гг.

| Скважина/*источник<br>(ID Водопункта) | Номер<br>пробы | Глубина,<br>метры | pH  | Eh, мВ | $t$ , $^{\circ}\text{C}$ | TDS,<br>г/л | $\text{O}_2$ ,<br>мг/л | $\text{HCO}_3^-$ ,<br>мг/л |
|---------------------------------------|----------------|-------------------|-----|--------|--------------------------|-------------|------------------------|----------------------------|
| 1                                     | 2              | 3                 | 4   | 5      | 6                        | 7           | 8                      | 9                          |
| Беломорье-2 (B2)                      | A-13-12        | 200–400           | 8,1 | – 80   | 6,9                      | 19,2        | 0                      | 42,7                       |
| 27 км а/д (27km)                      | A-34-12        | 200–400           | 7,2 | – 23   | 5,9                      | 15,7        | 1,1                    | 56,4                       |
| Лазурный-5 (L5)                       | A-6-12         | 200–400           | 8,3 | Н.с.   | Н.с.                     | 15,2        | Н.с.                   | Н.с.                       |
| Вождорма (Wo)                         | A-7-12         | 56–85             | 7,7 | – 124  | 5,3                      | 13,4        | 0                      | 133                        |
| Лазурный-6 (L6)                       | A-5-12         | 80–120            | 8,4 | – 182  | Н.с.                     | 9,1         | Н.с.                   | Н.с.                       |
| Новодвинск (No)                       | A-19-14        | 56–85             | 8,3 | – 82   | 6,8                      | 10,1        | 1,2                    | 34,8                       |
| Беломорье-1 (B1)                      | A-12-12        | 87–120            | 7,7 | – 38   | 5,7                      | 8,4         | 1,2                    | 255                        |
| Мироново (Mi)                         | A-8-12         | 80–120            | 7,8 | – 25   | 5,5                      | 5,3         | 0                      | 106                        |
| Матигоры-М (Mm)                       | A-10-12        | 23–33             | 7,8 | Н.с.   | Н.с.                     | 4,4         | Н.с.                   | Н.с.                       |
| *Куртяево 2-юг (Kss)                  | A-17-12        | 0,1               | 7,8 | – 40   | 4,3                      | 3,9         | 0                      | 435                        |
| *Куртяево 2-св (Ks)                   | A-18-12        | 0,1               | 8,5 | – 137  | 4,6                      | 3,3         | 0                      | 567                        |
| Куртяево-1 (Kw)                       | A-16-12        | 60–70             | 8,2 | – 72   | 5,0                      | 3,2         | 0,2                    | 642                        |
| Куртяево-2 (Kw2)                      | A-26-13        | 60–70             | 8,1 | – 216  | Н.с.                     | 2,7         | Н.с.                   | 1068                       |
| Матигоры-К (Mk)                       | A-11-12        | 23–33             | 8,2 | Н.с.   | Н.с.                     | 0,678       | Н.с.                   | Н.с.                       |
| Ильино (Il)                           | A-9-12         | 10–20             | 7,8 | Н.с.   | Н.с.                     | 0,463       | Н.с.                   | 322                        |
| Илес (Is)                             | A-14-12        | 25–35             | 7,6 | – 116  | 5,3                      | 0,253       | 0                      | 181                        |
| Чидвозеро (Ch)                        | A-19-12        | 80–120            | 8,2 | – 129  | 4,9                      | 0,251       | 1,4                    | 177                        |
| Лесное-1 (Le)                         | A-15-12        | 60–70             | 8,2 | – 24   | 5,0                      | 0,209       | 6                      | 159                        |
| Лесное-2 (Le2)                        | A-2-12         | 60–70             | 8,0 | – 34   | 5,0                      | 0,220       | 5,6                    | 186,05                     |

### Результаты исследований и их обсуждение

В общих случаях повышение радиологической активности может определяться более высокими концентрациями урана в водовмещающих отложениях [4, 6, 9, 14]. Однако поддержание высоких концентраций изотопов урана в подземных водах регламентируется окислительно-восстановительными и кислотнo-щелочными условиями и содержанием карбонатов [10–13] (табл. 1).

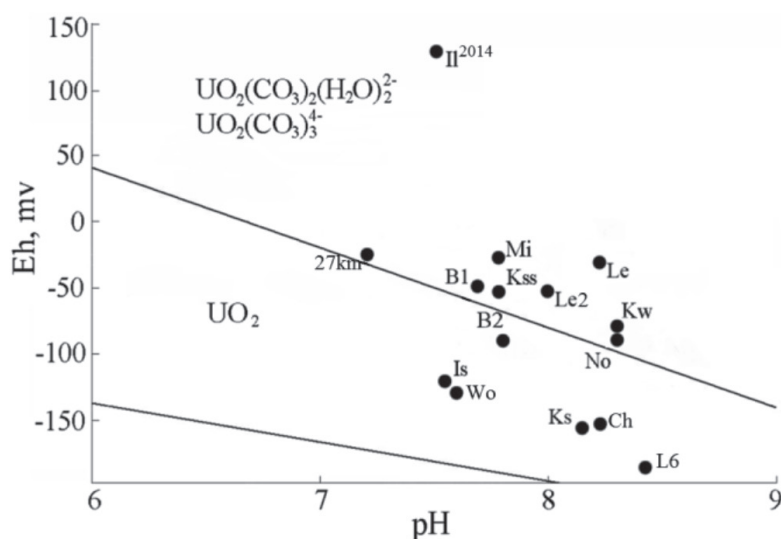
Анализ табл. 1 и измеренные  $\alpha$ -активности основных дозообразующих радионуклидов, то есть  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ , показали, что их повышенные суммарные объёмные  $\alpha$ -активности характерны для окислительных условий в водоносном горизонте ( $E_h \geq -50$  мВ). В данных условиях уран находится в виде уранил-карбонатных комплексов в  $\text{U}^{6+}$  состоянии. При снижении  $E_h < -50$  мВ уран восстанавливается до формы  $\text{U}^{4+}$  и осаждается в виде уранинита, при этом его концентрации в воде резко падают (рисунок).

Радиологические исследования показали (табл. 2), что измеренная в 2012–2014 гг. объёмная суммарная  $\alpha$ -активность изотопов урана  $\text{SUMA}_i$  в минеральных подземных водах на скважинах Вождорма, Беломорье-1, Мироново, Матигоры-М, Куртяево-2 превышает нормативные требования НРБ-99/2009, СП 2.6.1.1292-2003 и МУ 2.6.1.1981-05. Повышенные активности приурочены к восстановительному барьеру в водоносном горизонте, на котором уран длительное время осаждался из подземных вод. Эксплуатация скважин привела к соз-

данию локальной зоны окислительных условий и переходу урана в раствор.

В соответствии с выявленными показателями  $\text{SUMA}_i$  и  $\text{SUM}(\text{A}_i/\text{УВ})$  были выделены три группы (безопасные, малоопасные, повышенной опасности) минеральных подземных вод, отобранных с территории Северо-Двинской впадины, согласно характеристике «радиационная безопасность». По этому параметру все водопункты структурированы в табл. 3.

Суммарная объёмная  $\alpha$ -активность чётных изотопов урана (Бк/л) или  $\text{SUMA}_i$  в минеральных водах на скважинах: Беломорье-1 (1,19), Вождорма (1,06), Мироново (0,66), Матигоры-М (0,70), Куртяево-2 (1,06) выше значения 0,2. В связи с этим вода со скважин по характеристике «радиационная безопасность» может быть отнесена к группам с малой и повышенной опасностью (соответственно) с интервалом значений 0,45–1,0 и более 1,0 Бк/л. Однако проверка тех же водопунктов на показатель  $\text{SUMA}_i$  с учётом УВ выявила его численные значения: Беломорье-1 (0,42), Вождорма (0,37), Мироново (0,23), Матигоры-М (0,25), Куртяево-2 (0,37), которые соответствуют интервалу 0,2–0,3 и 0,3–0,45 представленному в табл. 3 для показателя  $\text{SUM}(\text{A}_i/\text{УВ}_i)$ . Последние полученные значения согласно требованиям НРБ-99/2009 и СП 2.6.1.1292-2003 отвечают условию  $\text{SUM}(\text{A}_i/\text{УВ}_i) \leq 1$ . Следовательно подземные воды с этих скважин могут быть использованы в качестве минеральных в соответствии с их медико-терапевтическим назначением.



Уран в подземных водах Северо-Двинской впадины в различных  $E_h$ -pH состояниях

Таблица 2

Альфа-активность минеральных подземных вод Северо-Двинской впадины за 2012–2014 гг.

| Скважина*/источник<br>(ID Водопункта) | Номер<br>пробы | Дата от-<br>бора | <sup>3</sup> Индекс | A <sub>238U</sub> , Бк/дм <sup>3</sup> | A <sub>238U</sub> /<br>УВ <sub>238U</sub> | <sup>234</sup> U / <sup>238</sup> U | A <sub>234U</sub> ,<br>Бк/дм <sup>3</sup> | A <sub>234U</sub> /<br>УВ <sub>234U</sub> | <sup>1</sup> SUMA <sub>1</sub> ,<br>Бк/л | <sup>2</sup> SUM<br>(A <sub>1</sub> /УВ <sub>1</sub> ) | <sup>238</sup> U, мкг/л |
|---------------------------------------|----------------|------------------|---------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------|
| Беломорье-2 (B2)                      | A-13-12        | 09.12            | Vmz                 | 0,0044                                 | 0,00146                                   | 4,54                                | 0,02                                      | 0,00714                                   | 0,0244                                   | 0,0086                                                 | 0,35358                 |
| 27 км а/д (27km)                      | A-34-12        | 09.12            | Vmz                 | 0,017                                  | 0,00567                                   | 4,92                                | 0,08                                      | 0,02857                                   | 0,09                                     | 0,03424                                                | 1,36612                 |
| Лазурный-5 (L5)                       | A-6-12         | 09.12            | Vpd                 | 0,001                                  | 0,00034                                   | 6,25                                | 0,006                                     | 0,00214                                   | 0,007                                    | 0,00248                                                | 0,08036                 |
| Вождорма (Wo)                         | A-7-12         | 09.12            | Vpd                 | 0,172                                  | 0,05734                                   | 5,17                                | 0,89                                      | 0,31786                                   | 1,06                                     | 0,37520                                                | 13,82192                |
| Лазурный-6 (L6)                       | A-5-12         | 08.12            | Vpd                 | 0,006                                  | 0,00200                                   | 6,53                                | 0,04                                      | 0,01428                                   | 0,046                                    | 0,01628                                                | 0,48216                 |
| Новодвинск (No)                       | A-19-14        | 04.14            | Vpd                 | 0,00459                                | 0,00153                                   | 6,72                                | 0,03084                                   | 0,01101                                   | 0,03543                                  | 0,01254                                                | 0,36885                 |
| Беломорье-1 (B1)                      | A-12-12        | 09.12            | Vpd                 | 0,1893                                 | 0,06310                                   | 5,33                                | 1,01                                      | 0,36071                                   | 1,1993                                   | 0,42381                                                | 15,21715                |
| Мироново (Mi)                         | A-8-12         | 09.12            | Vpd                 | 0,1048                                 | 0,03493                                   | 5,39                                | 0,56                                      | 0,20000                                   | 0,6648                                   | 0,23493                                                | 8,42138                 |
| Магитгоры-М (Mm)                      | A-10-12        | 09.12            | Vpd                 | 0,0901                                 | 0,03003                                   | 6,8                                 | 0,61                                      | 0,21786                                   | 0,7001                                   | 0,24789                                                | 7,24044                 |
| *Куртяево 2-юг (Kss)                  | A-17-12        | 09.12            | fQIIIvd             | 0,0057                                 | 0,00190                                   | 5,26                                | 0,03                                      | 0,01071                                   | 0,0357                                   | 0,01261                                                | 0,455756                |
| *Куртяево 2-св (Ks)                   | A-18-12        | 09.12            | fQIIIvd             | 0,011464                               | 0,00382                                   | 2,62                                | 0,03                                      | 0,01071                                   | 0,04146                                  | 0,01453                                                | 0,921305                |
| Куртяево-1 (Kw)                       | A-16-12        | 09.12            | Vpd                 | 0,04455                                | 0,01485                                   | 1,93                                | 0,07                                      | 0,02500                                   | 0,11455                                  | 0,03985                                                | 3,58038                 |
| Куртяево-2 (Kw2)                      | A-26-13        | 09.13            | Vpd                 | 0,26008                                | 0,08669                                   | 3,1                                 | 0,806                                     | 0,28786                                   | 1,06608                                  | 0,37455                                                | 20,8999                 |
| Магитгоры-К (Mk)                      | A-11-12        | 09.12            | Vpd                 | 0,0009                                 | 0,00030                                   | 5,24                                | 0,005                                     | 0,00178                                   | 0,0059                                   | 0,00208                                                | 0,07322                 |
| Ильино (Il)                           | A-9-12         | 09.12            | fQIIIvd             | 0,02925                                | 0,00975                                   | 1,30                                | 0,04                                      | 0,01428                                   | 0,06925                                  | 0,02403                                                | 2,35024                 |
| Илес (Is)                             | A-14-12        | 09.12            | Vpd                 | 0,00007                                | 0,000023                                  | 3,06                                | 0,0002                                    | 0,00007                                   | 0,00027                                  | 0,000093                                               | 0,0056252               |
| Чидвозеро (Ch)                        | A-19-12        | 09.12            | Vpd                 | 0,00011                                | 0,0000364                                 | 3,17                                | 0,0003                                    | 0,00011                                   | 0,00041                                  | 0,000146                                               | 0,00884                 |
| Лесное-1 (Le)                         | A-15-12        | 09.12            | Vpd                 | 0,02119                                | 0,00706                                   | 1,43                                | 0,03                                      | 0,01071                                   | 0,05119                                  | 0,01777                                                | 1,70282                 |
| Лесное-2 (Le2)                        | A-2-12         | 03.12            | Vpd                 | 0,02028                                | 0,00676                                   | 1,43                                | 0,02907                                   | 0,01038                                   | 0,04935                                  | 0,01714                                                | 1,62971                 |

Примечания: 1 – Показатель SUMA<sub>1</sub> в Бк/л – определяется суммированием активностей чётных изотопов урана <sup>234</sup>U и <sup>238</sup>U; 2 – Показатель SUM (A<sub>1</sub>/УВ<sub>1</sub>) устанавливается с учётом значений уровней вмешательства УВ (<sup>238</sup>U = 3,0; <sup>234</sup>U = 2,8 Бк/кг); 3 – Вмещающие водоносный горизонт отложения: Vpd – алевриты и песчанники падуновской свиты венда, Vmz – алевриты мезенской свиты венда, fQIIIvd – песчано-гравийные флювиогляциальные отложения валдайского ледникового среднего плейстоцена [2].

Изучаемые минеральные воды находятся на фронте зоны пластового окисления. Под данным понятием подразумевается граница между областями с окислительными и восстановительными для  $U^{6+}$  условиями. К этой зоне приурочен особый тип минеральных вод с TDS в пределах 5–10 г/л. На правом берегу р. Северной Двины, где водоносный комплекс терригенных отложений венда залегает под карбонатно-терригенными породами среднего карбона ( $C_2$ ), подземные воды имеют хлоридно-натриевый состав. В условиях перекрытия водоносного комплекса нижнекарбонными и верхнедевонскими загипсованными породами ( $C_1-D_3$ ) на левом берегу реки, воды характеризуются сульфатно-хлоридно-натриевым и сульфатно-хлоридно-кальциево-натриевым составами. При этом характерные значения Eh выше –50 мВ минеральных вод, указывают на окислительные условия в водоносном горизонте, где уран должен находиться в растворе (рис. 1). Поэтому концентрации урана в таком типе вод являются максимальными и в среднем составляют 8,3 мкг/л [3, 9].

В настоящее время существует необходимость определения в подземных водах и других радионуклидов:  $^{210}Po$ ,  $^{210}Pb$ ,  $^{226}Ra$ ,  $^{228}Ra$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{230}Th$ ,  $^{228}Th$  с целью оценки их радиационной безопасности.

Стабильное присутствие в минеральной воде радионуклидов с суммарной альфа-активностью выше 0,2 Бк/л указывает на целесообразность осуществления оценки доз внутреннего облучения (ДВО) населения, а также разработки и осуществления соответствующих защитных мероприятий.

#### Пример предварительной оценки радиационной безопасности минеральной и пресной воды на водопунктах Беломорье-1 и Лесное

В 2016 году нами были отобраны пробы подземных вод на скважинах Беломорье-1 и Лесное с целью оценки ДВО за счет по-

требления этих вод. Полученные активности составляют (в Бк/дм<sup>3</sup>):

Беломорье-1: альфа-активные изотопы  $^{238}U = 0,1305$ ;  $^{234}U = 0,6907$ ;  $^{226}Ra = 0,1101$ ;  $^{232}Th = 0$ ;  $^{210}Po = 0,0028$ ; бета-активные изотопы  $^{210}Pb = 0,0012$  Бк/дм<sup>3</sup>. Общая альфа-активность: 0,9341 Бк/дм<sup>3</sup>.

Лесное: альфа-активные изотопы  $^{238}U = 0,0120$ ;  $^{234}U = 0,0173$ ;  $^{226}Ra = 0,0561$ ;  $^{232}Th = 0$ ;  $^{210}Po = 0,0006$ ; бета-активные изотопы  $^{210}Pb = 0,0019$  Бк/дм<sup>3</sup>. Общая альфа-активность: 0,086 Бк/дм<sup>3</sup>.

Результаты анализов 2016 года подтверждают, что условие:  $SUM A_i \leq 0,2$  Бк/кг не выполняется для скважины Беломорье-1; однако условие  $SUM(A_i/YB_i) \leq 1$  соблюдается:

$$SUM(A_i/YB_i) = \frac{^{238}U}{YB^{238}U} + \frac{^{234}U}{YB^{234}U} + \frac{^{210}Po}{YB^{210}Po} + \frac{^{226}Ra}{YB^{226}Ra} + \frac{^{232}Th}{YB^{232}Th} = 0,1305/3,0 + 0,6907/2,8 + 0,0028/0,11 + 0,1101/0,49 + 0/0,6 = 0,54.$$

Оценка дозы облучения населения (Е) за счёт потребления питьевой воды осуществляется согласно условию (1), полученному для величины стандартного потребления питьевой воды 730 кг/год. Согласно формуле определяется вклад всех природных радионуклидов в облучение населения за счёт потребления питьевой воды, кроме радона, и при Е выше 0,1 мЗв/год, рассматривается вопрос о целесообразности разработки и осуществления защитных мероприятий.

$$E = 10^3 \cdot \sum_i d_i \cdot M \cdot A_i, \quad (1)$$

где  $M$  – среднее годовое потребление питьевой воды, кг/год (730);

$A_i$  – среднегодовое значение удельной активности  $i$ -го радионуклида в воде источников питьевого водоснабжения жителей населенного пункта (района и т.п.), Бк/кг;

$d_i$  – дозовые коэффициенты, численные значения которых принимаются в соответствии с Приложениями 3а и 3б МУ 2.6.1.2713-10. 2.6.1, Зв/Бк.

Таблица 3

Радиационная безопасность минеральных подземных вод Северо-Двинской впадины

| ID водопунктов                                             | Интервал $SUM A_i$ , Бк/л | Интервал $SUM(A_i/YB_i)$ | Характеристика       |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| L5, Mk, Is, Ch, 27km, B2, L6, No, Kss, Ks, Kw, Le, Le2, Il | 0,0001–0,2                | 0,0001–0,2               | Безопасные           |
| Mm, Mi                                                     | 0,45–1,0                  | от 0,2 до 0,3            | Малоопасные          |
| B1, Wo, Kw2                                                | более 1,0                 | 0,3–0,45                 | Повышенной опасности |

Доза облучения населения по шести определенным изотопам за счёт потребления воды с двух скважин по формуле (1) составила:

$$\text{Беломорье-1: } E = 7,3 \cdot 10^5 (4,5 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1305 + 3,4 \cdot 10^{-9} \cdot 0,6907 + 6,9 \cdot 10^{-7} \cdot 0,00115 + 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00277 + 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot 0,11013 + 2,3 \cdot 10^{-7} \times 0) = 0,0315, \text{ мЗв/год;}$$

$$\text{Лесное: } E = 7,3 \cdot 10^5 (4,5 \cdot 10^{-8} \cdot 0,0120 + 3,4 \cdot 10^{-9} \cdot 0,0173 + 6,9 \cdot 10^{-7} \cdot 0,0019 + 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00057 + 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot 0,05607 + 2,3 \cdot 10^{-7} \cdot 0) = 0,0133, \text{ мЗв/год.}$$

Таким образом, значение  $E$  для пресных и минеральных вод (соответственно равно 0,0133 и 0,0315 мЗв/год) отвечает норме 0,1 мЗв/год. Поэтому использование минеральных и пресных вод санатория Беломорье и скважины Лесное возможно без ограничений.

### Заключение

1. В подземных минеральных водах зарегистрированы повышенные  $\alpha$ -активности изотопов урана (в сумме до 0,7–1,2 Бк/л). Эти воды можно использовать, при условии дополнительного изучения их радиоизотопного состава.

2. Повышенные  $\alpha$ -активности приурочены к восстановительному барьеру в водоносном горизонте, на котором уран длительное время осаждался из подземных вод.

3. Несмотря на превышение ПДК по  $\alpha$ -активности, условие  $\text{SUM}_i(A_i/YB_i) \leq 1$  выполняется. В связи с этим доза облучения за счёт потребления питьевой воды даёт значение ( $E$ ) меньше 0,1 мЗв/год. Поэтому воду этих скважин можно использовать для питья без ограничений.

4. Однако необходим ежегодный контроль радиологического состояния подземных вод Северо-Двинской впадины, используемых для водоснабжения и бальнеологических целей.

### Список литературы

1. Бахур А.Е., Зуев Д.М. Радиационный контроль воды и новые НРБ-99/2009. Аппаратура и новости радиационных измерений. – 2009. – № 4. – С. 16–18.
2. Геология в развивающемся мире [Электронный ресурс]: сб. науч. тр. (по материалам IX Междунар. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): в 2 т. / отв. ред. Р.Р. Гильмутдинов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь: Полиграф-Сити, 2016. – Т. 2. – 582 с.: ил. – Электронные данные. – Режим доступа: [http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geolog\\_v\\_razv\\_mire\\_2016\\_2.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geolog_v_razv_mire_2016_2.pdf) (дата обращения: 27.05.2017).
3. Малов А.И., Киселёв Г.П. Уран в подземных водах Мезенской синеклизы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 238 с.
4. Малов А.И. Подземные воды Юго-Восточного Беломорья: формирование, роль в геологических процессах. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 234 с.
5. Малов А.И. О радиационной безопасности питьевых и минеральных вод Архангельской области // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы III Международной конференции, г. Томск, 23–27 июня 2009. – Томск: ТПУ, 2009. – С. 339–342.
6. Малов А.И., Гонтарев М.В., Зыкова Е.В. Радиоактивные изотопы в подземных водах Европейского Севера России и их индикаторное значение // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V Международной конференции, г. Томск, 13–16 сентября 2016 г. – Томск: ТПУ, 2016. – С. 406–408.
7. Методика выполнения измерений объемной активности изотопов урана (234, 238) в пробах природных вод альфа-спектрометрическим методом с радиохимическим выделением: инструкция № 38-ЯФ. – М., 1999. – 17 с.
8. Методика выполнения измерений объемной активности полония-210 и свинца-210 в природных водах альфа-бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой. Инструкция № 396 – ЯФ. – М.: ВИМС, 2001. – 17 с.
9. Многолетние изменения активностей изотопов урана в подземных водах венда Мезенской синеклизы / Малов А.И. [и др.] // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Сер. Естественные науки. – 2014. – № 2. – С. 23–31.
10. Чердынцев В.В. Об изотопном составе радиоэлементов в природных объектах в связи с вопросами геохронологии // Труды третьей сессии Комиссии по определению абс. возр. геол. форм. – М., 1955. – С. 175–233.
11. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. – М.: Научный мир, 2009. – 632 с.
12. Baskaran M. (ed.). Uranium, Thorium and Anthropogenic Radionuclides as Atmospheric Tracers // Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Advances in Isotope Geochemistry, Berlin Heidelberg. – 2011. – P. 601–611.
13. Hiscock K.M. (Kevin M.). Hydrogeology: principles and practice / Kevin M. Hiscock. – 2005. – 405 p.
14. Malov A.I. Estimation of uranium migration parameters in sandstone aquifers // J Environ. Radioactiv. – 2016. – Vol. 153. – P. 61–67. doi:10.1016/j.jenvrad.2015.11.006.
15. World Health Organization: Guidelines for Drinking-Water Quality. 4rd ed. Geneva. – 2011. – 564 p.