

© Пивоварова Е.А., Пивоваров А.А., Курганов В.Е., 2020

УДК 614.7

Оценка концентраций урана в воде источников питьевого водоснабжения на основании результатов лабораторных исследований удельных активностей ^{238}U , ^{234}U и лабораторного определения урана по ГОСТ Р 54499-2011

Е.А. Пивоварова, А.А. Пивоваров, В.Е. Курганов

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия» Роспотребнадзора,
ул. Ленина, 66, г. Абакан, Республика Хакасия, 655017, Российская Федерация

Резюме: Введение. Причиной токсичности и повреждающего действия урана и его соединений в организме считается как радиоактивность изотопов урана и продуктов их распада, так и их высокая химическая активность. Учитывая эти обстоятельства, проведены параллельные исследования удельных активностей (УА) и концентраций урана в воде источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. *Материалы и методы.* Проведены исследования УА урана-234, урана-238 в воде источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Хакасия с превышением контрольных уровней (КУ) по показателям удельной суммарной альфа-активности (A_α) с последующим пересчетом в массовые концентрации урана. Параллельно выполнены исследования концентраций урана в воде люминесцентным методом по ГОСТ Р 54499-2011. *Результаты.* Оценка радионуклидного состава воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Хакасия показала, что уровни A_α превышающие КУ, в значительной степени обусловлены природными радионуклидами – ураном-238 (вклад до 25 %), ураном-234 (вклад до 69 %). На основании УА урана-234, урана-238 рассчитаны массы (концентрации) урана в воде, которые составили от 0,007 до 0,06 мг/л в зависимости от водоисточника. В параллельных исследованиях проб воды по ГОСТ Р 54499-2011 получены концентрации урана от 0,007 до 0,061 мг/л. *Заключение.* Рассчитанные значения концентраций (массы) урана в воде источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения республики на основании УА урана-234, урана-238 отличаются от концентраций урана, полученных в результате исследований люминесцентным методом по ГОСТ Р 54499-2011, в пределах погрешности данного метода исследований. В нескольких населенных пунктах полученные концентрации урана в воде превышают гигиенический норматив – 0,015 мг/л (ГН 2.1.5.2280-07).

Ключевые слова: питьевая вода, уран, природные радионуклиды, удельные активности, уровни вмешательства, концентрации.

Для цитирования: Пивоварова Е.А., Пивоваров А.А., Курганов В.Е. Оценка концентраций урана в воде источников питьевого водоснабжения на основании результатов лабораторных исследований удельных активностей ^{238}U , ^{234}U и лабораторного определения урана по ГОСТ Р 54499-2011 // Здоровье населения и среда обитания. 2020. № 2 (323). С. 46–50. DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-323-2-46-50>

Assessment of Uranium Concentrations in Drinking Water Supply Sources Based on the Results of Laboratory Analysis of ^{238}U and ^{234}U Specific Activities and Laboratory Determination of Uranium According to GOST R 54499-2011

Е.А. Pivovarova, А.А. Pivovarov, V.E. Kurganov

The Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Khakassia,
66 Lenin Street, Abakan, Republic of Khakassia, 655017, Russian Federation

Abstract: *Introduction.* The cause of toxicity and damaging effects of uranium and its compounds on the body lies in radioactivity of uranium isotopes and their decay products as well as their high chemical activity. In view of the above, we conducted parallel studies of specific activities and concentrations of uranium in household and drinking water supply sources. *Materials and methods.* We studied specific activities of uranium-234 and uranium-238 in the centralized drinking water supply sources of the Republic of Khakassia exceeding control levels in terms of specific total alpha activity (A_α) and converted them to mass concentrations of uranium. Parallel analyses of uranium concentrations in water using the luminescent method according to GOST R 54499-2011 were performed. *Results.* Our assessment of the radionuclide composition of centralized drinking water supply sources showed that A_α levels exceeding control levels were largely due to natural radionuclides uranium-238 (contribution up to 25%) and uranium-234 (contribution up to 69%). Based on the specific activities of uranium-234 and uranium-238, we estimated masses (concentrations) of uranium in water ranging from 0.007 to 0.06 mg/L depending on the water source. In the parallel tests of water samples according to GOST R 54499-2011, uranium concentrations ranged from 0.007 to 0.061 mg/L. *Conclusions.* The uranium concentrations in the republican centralized drinking water supply sources estimated on the basis of uranium-234 and uranium-238 specific activities differed from the concentrations of uranium measured by the luminescent method according to GOST R 54499-2011 within the error of the test method. In some settlements uranium concentrations in water exceeded the hygienic standard of 0.015 mg/L (GN 2.1.5.2280-07).

Key words: drinking water, uranium, natural radionuclide, specific activity, intervention levels, concentrations.

For citation: Pivovarova EA, Pivovarov AA, Kurganov VE. Assessment of Uranium Concentrations in Drinking Water Supply Sources Based on the Results of Laboratory Analysis of ^{238}U and ^{234}U Specific Activities and Laboratory Determination of Uranium According to GOST R 54499-2011. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2020; 2(323):46-50. (In Russian) DOI: <http://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-323-2-46-50>

Information about the authors: Pivovarova E.A., <https://orcid.org/0000-0002-3725-0842>; Pivovarov A.A., <https://orcid.org/0000-0003-2856-0248>; Kurganov V.E., <https://orcid.org/0000-0002-2716-2478>.

Введение. Согласно данным Роспотребнадзора, в 2018 году в 37 субъектах Российской Федерации выявлены случаи превышения контрольных уровней первичной оценки содержания радионуклидов в питьевой воде. В 4 субъектах Российской Федерации доля проб с превышением контрольного уровня по удельной суммарной альфа-активности

составляет более 20 % (Республика Хакасия, Владимирская, Ленинградская, Псковская области). Превышения уровней вмешательства (УВ) в питьевой воде отмечены в 18 субъектах Российской Федерации. В большинстве случаев превышения уровней вмешательства связаны с повышенным содержанием радона, в некоторых случаях превышены УВ по

радио-226 и радио-228, а также по изотопам урана¹.

Уран — достаточно распространенный химический элемент, причем его содержание уменьшается от поверхности Земли к ее центру. В двадцатикилометровом слое Земли содержится 10^{17} кг урана. Средняя концентрация урана в земной коре почти в 30 раз больше концентрации серебра, почти в 1000 раз больше концентрации золота, а также висмута, ртути и др. [1, 2]. Природный уран представляет смесь трех изотопов: ^{238}U (99,2739 %), ^{234}U (0,0056 %), ^{235}U (0,7205 %). Изотопы ^{238}U , ^{235}U являются родоначальниками радиоактивных рядов [3–6].

Причиной токсичности и повреждающего действия урана и его соединений в организме считается как радиоактивность изотопов урана и продуктов их распада, так и их высокая химическая активность. Радиационный механизм токсического действия урана обусловлен его радиоактивностью [7, 8]. Изучению химической токсичности урана до недавнего времени уделялось малое внимание, однако исследования последних лет показали, что химическая токсичность ионов уранила значительно превосходит токсичность, обусловленную радиоактивностью атомов урана. Химическая токсичность находится в прямой зависимости от типа соединений урана, их концентрации, растворимости и способа поступления в организм [9–12]. Коэффициент всасывания в желудочно-кишечном тракте для U составляет 0,2 ($k = 0,2$). Для изотопов U характерен почечный и скелетный тип распределения в организме (при поступлении в кровь), поскольку он накапливается в почках и скелете в наибольших количествах от общего содержания в организме [13, 14].

Цель исследования. Оценка концентраций урана в воде источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения на основании результатов лабораторных исследований удельных активностей ^{238}U , ^{234}U и лабораторного определения урана люминесцентным методом по ГОСТ Р 54499–2011².

Задачи исследования. Определение удельных активностей ^{238}U , ^{234}U в воде источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения с превышением КУ A_a ; расчеты концентраций (массы) урана на основании УА ^{238}U , ^{234}U ; определение концентраций урана люминесцентным методом по ГОСТ Р 54499–2011; сравнение результатов исследований.

Материалы и методы исследования. В рамках исследования проведена оценка воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (ХПВ) в населенных пунктах Республики Хакасия: с. Вершино-Биджа, д. Лукьяновка, г. Сорск, с. Новороссийское, с. Шира, с. Московское, с. Краснополье, с. Новотроицкое, с. Боград.

Гигиеническая оценка воды источников централизованного хозяйственно-питьевого

водоснабжения ряда населенных пунктов республики по A_a , УА природных радионуклидов (ПРН) проведена на основании результатов лабораторных исследований, выполненных аккредитованными испытательными лабораториями учреждений Роспотребнадзора Республики Хакасия (аттестаты аккредитации ГСЭН.RU.ЦОА.085/1; ГСЭН.RU.ЦОА.085; РОСС RU.0001.510497). Исследование суммарной альфа- и бета-радиоактивности проводилось по методике ФГУП «ВНИИФТРИ», определение УА ПРН — по методикам ФГУП «ВИМС».

Расчет концентраций урана в воде источников хозяйственно-питьевого водоснабжения на основании результатов лабораторных исследований удельных активностей ^{238}U , ^{234}U проведен в соответствии с методикой [15] по формуле (1):

$$m = a \times M \times T_{1/2} \times A, \text{ где} \quad (1)$$

m — масса радионуклида (граммы),

M — атомная масса,

$T_{1/2}$ — период полураспада,

A — активность радионуклида (Бк/кг),

a — константа, зависящая от единиц, в которых выражается $T_{1/2}$.

При расчете значение « a » принято равным $7,56 \times 10^{-17}$, т. к. период полураспада урана выражается в годах. Периоды полураспада приняты в соответствии с СанПиН 2.6.1.2523–09³: для ^{238}U — $4,47 \times 10^9$ лет, для ^{234}U — $2,44 \times 10^5$ лет.

Определение концентраций урана проведено по методике ГОСТ Р 54499–2011 «Вода питьевая. Люминесцентный метод определения содержания урана» на базе ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия». В настоящее время данная методика внедряется в деятельность ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия», в 2020 году планируется расширение области аккредитации.

Результаты исследования. За период наблюдения с 2005 по 2018 г. с превышением КУ A_a выявлено $54,9 \pm 10,3$ % проб воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения республики. Превышение КУ A_a установлено в воде 124 источников централизованного ХПВ Республики Хакасия (порядка 60 % от общего количества источников централизованного ХПВ) (табл. 1).

Более половины исследованных проб воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения с превышениями КУ по A_a выявлено в г. Сорске ($90,2 \pm 24,2$ %), Ширинском ($61,9 \pm 19,8$ %), Боградском ($91,1 \pm 23,0$ %), Усть-Абаканском ($84,6 \pm 11,1$ %), Алтайском ($68,4 \pm 21,9$ %), Бейском ($69,6 \pm 23,7$ %) районах.

В связи с выявленными превышениями КУ по A_a проведен анализ радионуклидного состава воды ХПВ на приоритетных территориях (Алтайский, Бейский, Боградский,

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. 254 с.

² Вода питьевая. Люминесцентный метод определения содержания урана: Государственный стандарт ГОСТ Р 54499–2011. М., 2011.

³ СанПиН 2.6.1.2523–09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009)» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07 июля 2009 г. № 47). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 101 с.

Усть-Абаканский, Ширинский, Таштыпский, Орджоникидзевский, Аскизский районы, г. Сорск, г. Черногорск (пгт. Пригорск), г. Абакан (водозабор «Верхняя Согра») по следующим показателям (радионуклидам): ^{238}U , ^{234}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po .

Оценка радионуклидного состава воды источников ХПВ показала, что уровни A_α , превышающие КУ, в значительной степени обусловлены природными радионуклидами ^{238}U (вклад до 25 %), ^{234}U (вклад до 69 %).

Наибольшие значения A_α в воде источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения установлены в следующих населенных пунктах республики: г. Сорск, с. Новороссийское, с. Краснопожье, д. Лукьяновка, с. Новотроицкое, с. Боград, с. Московское, с. Вершино-Биджа, с. Шира и другие. Превышение КУ A_α (0,2 Бк/кг) в воде источников централизованного ХПВ в данных населенных пунктах отмечается до 26 раз (A_α до 5,2 Бк/кг) (табл. 2).

Согласно данным, представленным в табл. 2, $\text{УА } ^{234}\text{U}$ превышает соответствующие УВ в воде источников ХПВ в с. Новотроицкое Бейского района (до 1,4 раза), с. Краснопожье Алтайского района (до 1,3 раза). $\text{УА } ^{238}\text{U}$ не превышает соответствующих УВ в воде источников ХПВ во всех населенных пунктах республики.

Суммы отношений УА ПРН к соответствующим УВ превышают 1,0 в с. Новороссийское, с. Краснопожье, д. Лукьяновка, с. Новотроицкое. На уровне 1,0 – в с. Московское, с. Боград.

На основании $\text{УА } ^{238}\text{U}$, ^{234}U проведены расчеты массы (концентраций) урана в воде источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Республики Хакасия. Полученные значения варьируют в пределах от 0,007 до 0,06 мг/л (табл. 3).

Для определения концентраций урана люминесцентным методом в соответствии с ГОСТ Р 54499–2011 в населенных пунктах д. Лукьяновка, г. Сорск, с. Новороссийское,

Таблица 1. Удельный вес проб воды источников ХПВ с превышением КУ по A_α (%)

Table 1. The percentage of water samples taken from centralized water supply sources exceeding A_α control levels (%)

Территория / Towns and districts	Годы наблюдения / Years of observation													
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
г. Абаза / Abaza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
г. Абакан / Abakan	0	0	28	14	18	27	38	52	52	46	58	30	27	35
г. Саяногорск / Sayanogorsk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
г. Сорск / Sorsk	100	100	100	100	100	92	100	100	100	86	100	75	100	100
г. Черногорск / Chernogorsk	40	20	33	50	67	40	63	75	50	50	67	67	67	100
Алтайский р-н / Altaysky District	100	50	33	52	69	84	68	74	83	91	100	68	36	50
Аскизский р-н / Askizsky District	100	67	33	24	26	20	16	27	27	28	73	54	40	77
Бейский р-н / Bey District	100	67	33	57	70	83	100	54	88	50	78	27	68	100
Боградский р-н / Bograd District	25	60	100	64	50	92	89	88	82	100	100	86	100	100
Орджоникидзевский р-н / Ordzhonikidzevsky District	33	25	25	46	54	60	60	44	50	33	60	75	40	40
Таштыпский р-н / Tashtypsky District	33	100	25	33	42	50	67	88	54	24	40	50	33	40
Усть-Абаканский р-н / Ust-Abakan District	88	57	88	94	93	89	94	89	76	85	83	73	100	75
Ширинский р-н / Shirinsky District	40	31	62	65	57	56	70	73	36	82	100	83	69	42

Таблица 2. Удельная суммарная альфа-активность; $\text{УА } ^{234}\text{U}$, $\text{УА } ^{238}\text{U}$; сумма отношений УА ПРН к соответствующим УВ, Бк/кг

Table 2. Total specific alpha activity; specific activity (SA) of ^{234}U and ^{238}U ; the sum of ratios of specific activity of natural radionuclides (NRN) to the corresponding intervention levels (IL), Bq/kg

Населенный пункт / Settlements (v – village)	Численность населения, чел. / The size of population	A_α		$\text{УА } ^{234}\text{U} / \text{SA } ^{234}\text{U}$		$\text{УА } ^{238}\text{U} / \text{SA } ^{238}\text{U}$		$\Sigma (\text{УА ПРН} / \text{УВ ПРН})^* / \Sigma (\text{SA NRN} / \text{IL NRN})^*$
		$M \pm m$	Max	$M \pm m$	Max	$M \pm m$	Max	
г. Сорск / Sorsk (town)	11504	$0,46 \pm 0,17$	1,1	$0,34 \pm 0,1$	1,65	$0,13 \pm 0,01$	0,39	$0,9 \pm 0,02$
Алтайский район / Altaysky District								
с. Новороссийское / v. Novorossiyskoye	962	$1,73 \pm 0,63$	2,73	$1,2 \pm 0,4$	2,3	$0,42 \pm 0,1$	0,66	$1,3 \pm 0,03$
с. Краснопожье / v. Krasnopolye	653	$3,01 \pm 1,1$	5,2	$2,02 \pm 0,6$	3,76	$0,74 \pm 0,2$	1,27	$1,71 \pm 0,04$
д. Лукьяновка / v. Lukyanovka	419	$1,55 \pm 0,6$	2,8	$1,04 \pm 0,12$	1,87	$0,38 \pm 0,1$	0,68	$1,23 \pm 0,03$
Бейский район / Bey District								
с. Новотроицкое / v. Novotroitskoye	709	$3,2 \pm 1,18$	4,9	$2,1 \pm 0,8$	3,85	$0,78 \pm 0,2$	1,19	$1,75 \pm 0,04$
Боградский район / Bograd District								
с. Боград / v. Bograd	4401	$0,72 \pm 0,26$	2,8	$0,54 \pm 0,2$	1,7	$0,25 \pm 0,1$	0,65	$1,01 \pm 0,02$
Усть-Абаканский район / Ust-Abakan District								
с. Московское / v. Moskovskoye	1067	$0,92 \pm 0,34$	2,8	$0,7 \pm 0,3$	1,79	$0,21 \pm 0,05$	0,65	$1,06 \pm 0,02$
с. Вершино-Биджа / v. Vershino-Bidzha	1089	$0,54 \pm 0,2$	1,2	$0,35 \pm 0,04$	0,77	$0,13 \pm 0,01$	0,3	$0,91 \pm 0,02$
Ширинский район / Shirinsky District								
с. Шира / v. Shira	8826	$0,4 \pm 0,14$	1,19	$0,24 \pm 0,03$	0,71	$0,09 \pm 0,01$	0,25	$0,86 \pm 0,02$

* представлена сумма отношений $\text{УА } ^{234}\text{U}$, ^{238}U , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb к соответствующим УВ в соответствии с НРБ 99/2009.
* the sum of ratios of specific activities of ^{234}U , ^{238}U , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb to the corresponding intervention levels in accordance with Radiation Safety Standards NRB 99/2009.

с. Шира, с. Московское, с. Краснопожье, с. Вершино-Биджа, с. Новотроицкое, с. Боград проведен отбор проб воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения для исследований на базе ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия».

Полученные значения концентраций урана варьируют в пределах от 0,007 до 0,061 мг/л. Следует отметить, что в соответствии с ГН 2.1.5.2280–07 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», ПДК урана в воде составляет 0,015 мг/л. Полученные концентрации урана в воде источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения в д. Лукьяновка, г. Сорск, с. Новороссийское, с. Московское, с. Краснопожье, с. Новотроицкое,

с. Боград превышают гигиенический норматив – 0,015 мг/л.

Из данных, представленных в табл. 5, следует, что рассчитанные значения концентраций (массы) урана на основании УА ^{238}U , ^{234}U отличаются от концентраций урана, полученных в результате исследований по ГОСТ Р 54499–2011, в пределах погрешности данного метода исследований (табл. 5).

Выводы:

1. За период наблюдения с превышением КУ Аа выявлено $54,9 \pm 10,3$ % проб воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения республики. Более половины исследованных проб воды с превышениями КУ по Аа выявлено в г. Сорске ($90,2 \pm 24,2$ %), Ширинском ($61,9 \pm 19,8$ %), Боградском ($91,1 \pm 23,0$ %),

Таблица 3. Масса (концентрация) ^{238}U , ^{234}U в воде ХПВ на основании результатов лабораторных исследований УА (средние значения)

Table 3. Mass (concentration) of ^{238}U , ^{234}U in centralized water supply sources based on the results of specific activity laboratory testing (average values)

Населенный пункт / Settlements (v – village)	УА ^{234}U , Бк/кг / SA ^{234}U , Bq/kg	Период полураспада ^{234}U , лет / Half-life of ^{234}U , years	m ^{234}U , мкг/л / m ^{234}U , µg/L	УА ^{238}U , Бк/кг / SA ^{238}U , Bq/kg	Период полураспада ^{238}U , лет / Half-life of ^{238}U , years	m ^{238}U , мг/л / m ^{238}U , mg/L	m $^{238}\text{U} + ^{234}\text{U}$, мг/л / m $^{238}\text{U} + ^{234}\text{U}$, mg/L
с. Вершино-Биджа / v. Vershino-Bidzha	$0,35 \pm 0,04$	$2,44 \times 10^5$	0,00000151	$0,13 \pm 0,01$	$4,47 \times 10^9$	0,01045	0,010451
д. Лукьяновка / v. Lukyanovka	$1,04 \pm 0,12$	$2,44 \times 10^5$	0,00000448	$0,38 \pm 0,1$	$4,47 \times 10^9$	0,03056	0,030564
г. Сорск/ Sorsk (town)	$0,34 \pm 0,1$	$2,44 \times 10^5$	0,0000014	$0,13 \pm 0,01$	$4,47 \times 10^9$	0,01045	0,010451
с. Новороссийское / v. Novorossiyskoye	$1,2 \pm 0,4$	$2,44 \times 10^5$	0,00000517	$0,42 \pm 0,1$	$4,47 \times 10^9$	0,03377	0,033775
с. Шира / v. Shira	$0,24 \pm 0,03$	$2,44 \times 10^5$	0,00000103	$0,09 \pm 0,01$	$4,47 \times 10^9$	0,007238	0,007239
с. Московское / v. Moskovskoye	$0,7 \pm 0,3$	$2,44 \times 10^5$	0,00000302	$0,21 \pm 0,05$	$4,47 \times 10^9$	0,016889	0,016893
с. Краснопожье / v. Krasnopolye	$2,02 \pm 0,6$	$2,44 \times 10^5$	0,0000087	$0,74 \pm 0,2$	$4,47 \times 10^9$	0,05951	0,059518
с. Новотроицкое / v. Novotroitskoye	$2,1 \pm 0,8$	$2,44 \times 10^5$	0,00000906	$0,78 \pm 0,2$	$4,47 \times 10^9$	0,06273	0,062739
с. Боград / v. Bograd	$0,54 \pm 0,2$	$2,44 \times 10^5$	0,00000233	$0,25 \pm 0,1$	$4,47 \times 10^9$	0,0201	0,020102

Таблица 4. Лабораторно определенные концентрации урана по ГОСТ Р 54499–2011

Table 4. Laboratory-determined uranium concentrations according to GOST R 54499–2011

Населенный пункт / Settlements (v – village)	Лабораторно определенные концентрации урана по ГОСТ Р 54499, мг/л / Laboratory-determined uranium concentrations according to GOST R 54499, mg/L
с. Вершино-Биджа / v. Vershino-Bidzha	$0,017 \pm 0,004$
д. Лукьяновка / v. Lukyanovka	$0,042 \pm 0,011$
г. Сорск / Sorsk (town)	$0,03 \pm 0,01$
с. Новороссийское / v. Novorossiyskoye	$0,04 \pm 0,01$
с. Шира / v. Shira	$0,007 \pm 0,002$
с. Московское / v. Moskovskoye	$0,029 \pm 0,007$
с. Краснопожье / v. Krasnopolye	$0,061 \pm 0,01$
с. Новотроицкое / v. Novotroitskoye	$0,08 \pm 0,01$
с. Боград / v. Bograd	$0,032 \pm 0,011$

Таблица 5. Масса (концентрация) ^{238}U , ^{234}U в воде ХПВ на основании результатов лабораторных исследований УА и лабораторно определенные концентрации урана по ГОСТ Р 54499–2011

Table 5. Mass (concentration) of ^{238}U , ^{234}U in household and drinking water supply sources according to the results of specific activity laboratory testing and uranium concentrations measured according to GOST R 54499–2011

Населенный пункт / Settlements (v – village)	Расчетные значения / Estimated values			Лабораторно определенные концентрации урана, мг/л (ГОСТ Р 54499–2011) / Laboratory-measured uranium concentrations, mg/L (GOST R 54499–2011)
	m ^{234}U , мг/л / mg/L	m ^{238}U , мг/л / mg/L	m $^{238}\text{U} + ^{234}\text{U}$, мг/л / mg/L	
с.Вершино-Биджа / v. Vershino-Bidzha	0,00000151	0,01045	0,010451	$0,017 \pm 0,004$
д. Лукьяновка / v. Lukyanovka	0,00000448	0,03056	0,030564	$0,042 \pm 0,011$
г. Сорск / Sorsk (town)	0,0000014	0,01045	0,010451	$0,03 \pm 0,01$
с. Новороссийское / v. Novorossiyskoye	0,00000517	0,03377	0,033775	$0,04 \pm 0,01$
с. Шира / v. Shira	0,00000103	0,007238	0,007239	$0,007 \pm 0,002$
с. Московское / v. Moskovskoye	0,00000302	0,016889	0,016893	$0,029 \pm 0,007$
с. Краснопожье / v. Krasnopolye	0,0000087	0,05951	0,059518	$0,061 \pm 0,01$
с. Новотроицкое / v. Novotroitskoye	0,00000906	0,06273	0,062739	$0,08 \pm 0,01$
с. Боград / v. Bograd	0,00000233	0,0201	0,020102	$0,032 \pm 0,011$

Усть-Абаканском ($84,6 \pm 11,1$ %), Алтайском ($68,4 \pm 21,9$ %), Бейском ($69,6 \pm 23,7$ %) районах. Наибольшие значения (Аа до $5,2$ Бк/кг) — в г. Сорске, с. Новороссийское, с. Краснополье, д. Лукьяновка, с. Новотроицкое, с. Боград, с. Московское, с. Вершино-Биджа, с. Шира.

2. Оценка радионуклидного состава воды источников ХПВ показала, что уровни Аа, превышающие КУ, в значительной степени обусловлены природными радионуклидами ^{238}U (вклад до 25%), ^{234}U (вклад до 69 %).

3. УА ^{234}U превышают соответствующие УВ в воде источников ХПВ в с. Новотроицкое Бейского района (до 1,4 раза), с. Краснополье Алтайского района (до 1,3 раза). УА ^{238}U не превышают соответствующих УВ в воде источников ХПВ во всех населенных пунктах республики. Суммы отношений УА ПРН к соответствующим УВ превышают 1,0 в с. Новороссийское, с. Краснополье, д. Лукьяновка, с. Новотроицкое. Полученные концентрации урана в воде ХПВ (по ГОСТ Р 54499–2011) в д. Лукьяновка, г. Сорск, с. Новороссийское, с. Московское, с. Краснополье, с. Новотроицкое, с. Боград превышают гигиенический норматив — $0,015$ мг/л (ГН 2.1.5.2280–07).

4. На основании УА ^{238}U , ^{234}U рассчитанные массы (концентрации) урана в воде ХПВ с. Вершино-Биджа, д. Лукьяновка, г. Сорск, с. Новороссийское, с. Шира, с. Московское, с. Краснополье, с. Новотроицкое, с. Боград составили от $0,007$ до $0,06$ мг/л. Концентрации урана в пробах, исследованных по ГОСТ Р 54499–2011, составили от $0,007$ до $0,061$ мг/л.

5. Рассчитанные значения концентраций (массы) урана в воде ХПВ с. Вершино-Биджа, д. Лукьяновка, г. Сорск, с. Новороссийское, с. Шира, с. Московское, с. Краснополье, с. Новотроицкое, с. Боград на основании УА ^{238}U , ^{234}U отличаются от концентраций урана, полученных в результате исследований по ГОСТ Р 54499–2011, в пределах погрешности данного метода исследований.

Список литературы

1. Галицкий Э.А. Радиобиология: курс лекций. Гродно: ГРГУ, 2001. 204 с.
2. Стась Г.В., Мпекко Нсендо Арди. Общая характеристика месторождений урана // Известия Тульского государственного университета. Наука о земле. 2014. № 2. С. 121–127.
3. Баженов В.А., Булдаков Л.А., Василенко И.Я. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. Ленинград: Химия, 1990. 464 с.
4. Бекман И.Н. Уран. М.: Изд-во МГУ, 2009. 300 с.
5. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 336 с.
6. Тананаев И.Г. Уран: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2011. 92 с.
7. Коггл Дж. Биологические эффекты радиации. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с.
8. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. М.: Высшая школа, 2004. 549 с.
9. Гудков С.В., Черников А.В., Брусков В.И. Химическая и радиационная токсичность соединений урана // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. общества им. Д.И. Менделеева). 2014. Т. LVIII. № 3,4. С. 73–82.
10. Новиков Ю.В. Гигиенические вопросы изучения содержания урана во внешней среде и его влияния на организм. М.: Медицина, 1974. 232 с.
11. Стамат И.П., Ступина В.В. О нормировании показателей радиационной безопасности минеральных природных вод // Радиационная гигиена. 2014. № 7(2). С. 30–36.
12. Белов А.Д., Лысенко Н.П., Киршин В.А. и др. Радиобиология. Учебник для вузов. М.: Колос, 1999. 384 с.
13. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. М.: Энергоатомиздат, 1990. 160 с.
14. Барановская Н.В., Игнатова Т.Н., Рихванов Л.П. Уран и торий в органах и тканях человека // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 339. С. 182–188.
15. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1995. 496 с.
16. Galiczki EA. Radiobiology: a course of lectures. Grodno: Grodno State University Publ., 2001. 204 p. (In Russian)
17. Stas GV, Mpeko Nsendo Ardi. General characteristics of uranium deposits. *Proceedings of the Tula State University. Earth Science*. 2014; 2:121–127. (In Russian)
18. Bazhenov VA, Buldakov LA, Vasilenko IYa. Harmful chemicals. Radioactive substances. Leningrad: Khimiya Publ., 1990. 464 p. (In Russian)
19. Beckman IN. Uran. Moscow: MSU publishing House Publ., 2009. 300 p. (In Russian)
20. Zhuravlev VF. Toxicology of radioactive substances. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1990. 336 p. (In Russian)
21. Tananaev IG. Uranium: a training manual. Moscow: NIЯAU MEPhI Publ., 2011. 92 p. (In Russian)
22. Koggl Dzh. Biological effects of radiation. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1986. 184 p. (In Russian)
23. Yarmonenko SP. Radiobiology of humans and animals. Moscow: Higher school Publ., 2004. 549 p. (In Russian)
24. Gudkov SV, Chernikov AV, Bruskov VI. Chemical and radiation toxicity of uranium compounds. *Russian Chemical Journal*. 2014; LVIII(3,4):73–82. (In Russian)
25. Novikov YuV. Hygienic issues of studying the content of uranium in the external environment and its influence on the body. Moscow: Meditsina Publ., 1974. 232 p. (In Russian)
26. Stamat IP, Stupina VV. On normalization of indicators of radiation safety of mineral natural waters. *Radiation Hygiene*. 2014; 7(2):30–36. (In Russian)
27. Belov AD, Lysenko NP, Kirshin VA, et al. Radiobiology. Textbook for Universities. Moscow: Kolos Publ., 1999. 384 p. (In Russian)
28. Buldakov LA. Radioactive substances and people. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1990. 160 p. (In Russian)
29. Baranovskaya NV, Ignatova TN, Rixvanov LP. Uranium and thorium in human organs and tissues. *Bulletin of Tomsk State University*. 2010; 339:182–188. (In Russian)
30. Mashkovich VP, Kudryavceva AV. Protection from ionizing radiation: reference book. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1995. 496 p. (In Russian)

Контактная информация:

Пивоварова Елена Анатольевна, заместитель главного врача ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Хакасия»
e-mail: pivovarova.ea@yandex.ru

Corresponding author:

Elena Pivovarova, Deputy Chief Doctor, Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Khakassia
e-mail: pivovarova.ea@yandex.ru