

УДК 550.46, 550.47

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО УРАНОВОГО СТАТУСА НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Злобина Анастасия Николаевна¹,
anastasiyazl@mail.ru

Фархутдинова Лейла Муратовна²,
farkhutdinova@gmail.com

Фархутдинов Исхак Мансурович^{3,4},
iskhakgeo@gmail.com

Беляновская Александра Игоревна⁵,
alexandra.belyanovskaya@outlook.com

Барановская Наталья Владимировна⁶,
nata@tpu.ru

Чесалова Елена Игоревна⁵,
chesalova_ei@mail.ru

Фархутдинов Анвар Мансурович⁷,
anvar.farkhutdinov@cyu.fr

Хайрулина Лариса Александровна¹,
artthemix@mail.ru

Крестьянникова Елизавета Вячеславовна^{5,8,9},
li3452@yandex.ru

¹ Уфимский университет науки и технологии,
Россия, 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

² Башкирский государственный медицинский университет,
Россия, 450000, г. Уфа, ул. Ленина, 3.

³ ООО «РН-БашНИПНефть»,
Россия, 450103, г. Уфа, ул. Бехтерева, 3/1.

⁴ Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН,
Россия, 103009, г. Москва, ул. Моховая, 11, стр. 11.

⁵ Тюменский государственный университет,
Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6.

⁶ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

⁷ Университет Сержи-Париж,
Франция, 95000, г. Сержи-Понтуаэ, бульвар Де Порт, 33.

⁸ Тюменский государственный медицинский университет,
Россия, 625023, г. Тюмень, ул. Одесская, 54.

⁹ Тюменский индустриальный университет,
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Актуальность. Уран является радиоактивным, канцерогенным, токсичным элементом, способным накапливаться в организме человека и вызывать различные виды патологии (нарушение функции почек, рак крови, почек, кишечника и др.). Это обуславливает актуальность изучения закономерностей распределения данного химического элемента в среде проживания. Главным источником поступления урана в организм человека является питьевая вода, что подтверждается результатами расчета коэффициента накопления и корреляционным анализом, показавшим высокую зависимость концентрации урана в волосах от его содержания в напиль питьевых вод Республики Башкортостан. Метод оценки содержания урана в природных средах, включающий геохимический, литологический, гидрогеологический, тектонический анализы и изучение техногенных факторов, позволяет достаточно точно определить главные ресурсы питания ураном питьевой воды на изучаемой территории.

Цель: оценить значимость геоэкологических факторов на территории Республики Башкортостан в формировании регионального уранового статуса на основе изучения содержания урана в напиль питьевых вод и в волосах жителей.

Методы. Концентрация урана в напиль питьевых вод и волосах детей изучалась с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа с использованием исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ. Для обработки данных использовались программные пакеты Statistica 10 и Microsoft Excel 2013. Карта пространственного распределения урана была построена с помощью программного обеспечения ArcGIS 10.2 в модуле Geostatistical Analyst с использованием метода обратных взвешенных расстояний.

Результаты. На территории Республики Башкортостан наблюдается широкий разброс значений содержания урана как в напиль питьевых вод (диапазон от 0,01 до 61,0 мг/кг), так и в волосах жителей (от 0,001 до 0,411 мг/кг). Среднее содержание урана в напиль питьевых вод (515 проб) составило 5,4 мг/кг, в волосах (182 пробы) – 0,04 мг/кг. Пространственное распределение урана имеет четкую согласованность с геоэкологическими условиями местности. Выделяются зоны повышенной концентрации урана в напиль и волосах, где содержание урана выше фонового значения по республике: западная платформенная

и южная горная зоны. Наряду с положительными аномалиями существуют отрицательные, где уровень элемента ниже среднего показателя: северная платформенная и северная горная зоны. Неравномерное распределение урана объясняется как природными (широкое разнообразие горных пород, гидрогеологический и тектонический факторы), так и техногенными факторами (разработка нефтяных и рудных месторождений). Проведенный корреляционный анализ показал прямую зависимость содержания U в волосах детей от его концентрации в накипи питьевых вод ($R^2=0,8$), что свидетельствует о ведущей роли питьевой воды в поступлении урана в организм человека. Учитывая выявленный более высокий уровень урана в волосах жителей Башкортостана по сравнению с рядом других регионов РФ и мира, а также способность данного химического элемента к кумуляции в организме, особую актуальность приобретает изучение влияния уранового статуса на состояние здоровья населения. Полученные результаты могут служить теоретической базой для выяснения биологической роли урана и решения фундаментальной проблемы связи геоэкологии и здоровья человека.

Ключевые слова:

природная радиоактивность, накипь питьевых вод, химический состав волос, геохимия, геоэкология.

Введение

Геологическая среда является главным источником элементов-примесей в биосфере. Благодаря широкому спектру хорошо изученных геологических обстановок, обуславливающих микроэлементное разнообразие, территория Республики Башкортостан (РБ) представляет собой уникальную возможность для исследования роли геоэкологических факторов в формировании регионального микроэлементного профиля. Урановый профиль (статус) – результаты исследования содержания элемента, отражающие особенности его накопления и распределения в той или иной среде.

Содержание различных химических элементов в окружающей среде в зависимости от особенностей геологического строения местности изучалось целым рядом авторов [1–11]. Однако работы, освещающие влияние комплекса геоэкологических факторов на региональные особенности уранового статуса немногочисленны [12–19].

В организме человека уран и продукты его распада аккумулируются в органах и тканях и при хроническом поступлении могут быть токсичными и канцерогенными, повышая риск нарушений функции почек, развития рака крови, почек, кишечника и других органов [15, 20–23]. Это обуславливает актуальность изучения закономерностей распределения данного химического элемента в среде проживания.

Основным источником поступления (около 85 %) урана в организм человека является вода [13, 24]. Эффективным методом оценки содержания химических элементов в организме человека является изучение элементного состава волос, которые представляют собой «минеральный образ» человека [25, 26]. По данным литературы, уран также аккумулируется в волосах, что позволяет использовать их в качестве биопробы [27–29].

Цель настоящей работы – оценить значимость геоэкологических факторов на территории РБ в формировании регионального уранового статуса на основе изучения содержания урана в накипи питьевых вод и в волосах жителей. Выдвинута следующая гипотеза исследования: особенности регионального уранового статуса определяются геоэкологическими условиями местности.

Материалы и методы

Район исследования

Исследование проведено на территории РБ – региона центральной части России, площадью 143600 км².

В геологическом отношении западная часть РБ представлена обширной равниной, приуроченной к юго-восточной окраине Восточно-Европейской платформы, а восточная часть – к Южному Уралу, занимающему 1/3 территории республики. В основании платформы залегает мощный гранитогнейсовый (кристаллический) фундамент, поверхность которого, согласно данным геофизики, погружается в юго-восточном направлении от 2–3 до 16–18 км. В этом же направлении возрастает мощность осадочного чехла. Широкий диапазон геологических структур (платформа, предгорный прогиб, складчатая область) и горных пород (осадочные, вулканогенные, магматические, метаморфические породы различного состава, строения и возраста) обуславливает специфику микроэлементного состава местности и позволяет оценивать биологическую роль геоэкологических факторов.

Отбор проб

Оценка содержания урана в питьевых водах была проведена на основе изучения концентрации элемента в пробах накипи питьевых вод, поскольку, согласно опубликованным данным, имеет ряд преимуществ в геохимических исследованиях. Накипь отражает накопление элементов за длительный срок, её легче отбирать и транспортировать, более того, исследования, осуществленные на территории Томской, Павлодарской областей и в Байкальском регионе, выявили высокую корреляционную связь (от 0,62 до 0,96) между уровнем урана в питьевой воде и накипи [17, 30–33]. Пробы накипи питьевых вод были отобраны из различной домашней посуды (эмалированные и электрические чайники, котелки, самовары), которая использовалась для кипячения воды как из центральных, так и из индивидуальных (колодцы, ручьи) источников водоснабжения. В общей сложности было проанализировано 515 проб из 262 населенных пунктов РБ.

Отбор проб волос проводился в соответствии с рекомендацией МАГАТЭ [34]. Образцы волос были взяты у детей и подростков (обоих полов, в возрасте от 4 до 18 лет), постоянно проживающих по месту рождения. Выбор данной возрастной категории позволяет нивелировать факторы, влияющие на формирование микроэлементного статуса у взрослого населения – курение, хронические заболевания, профессиональные вредности и т. д. В общей сложности было проанализировано 182 пробы волос детей из 37

населённых пунктов. При взятии образцов регистрировались возраст, пол, полное имя, адрес, место рождения ребенка. Выборка включала детей без каких-либо зафиксированных отклонений в состоянии здоровья.

Аналитические методы

Концентрация урана в накипи питьевых вод и волосах детей изучалась с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) с использованием исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ (свидетельство об аккредитации № RA.RU.21AB27 (08.04.2015); аналитики – Ю.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская). Предел обнаружения урана методом ИНАА от $n \times 1\%$ до $n \times 10^{-7}\%$. Накипь питьевых вод измельчали до 100 меш, а затем фасовали по 100 мг в пакетики из алюминиевой фольги. Волосы детей также упаковывали навесками по 100 мг в пакетики из алюминиевой фольги. В качестве контроля качества метода стандартный образец Элодея канадская, ЭК-1 (8921-2007), облучали одновременно и в тех же условиях, что и исследуемые образцы. Этот метод эффективен при обнаружении радиоактивных элементов [35].

Обработка результатов

Для обработки данных использовались программные пакеты Statistica 10 и Microsoft Excel 2013. Среднее арифметическое, стандартная ошибка, среднее геометрическое, медиана, минимальные и максимальные значения, стандартное отклонение, асимметричность, эксцесс, коэффициент корреляции Пирсона были определены путем статистической обработки данных. Карта пространственного распределения урана была построена с помощью программного обеспечения ArcGIS 10.2 в модуле Geostatistical Analyst с использованием метода обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting – IDW).

Коэффициент накопления (КН) урана рассчитан делением концентрации элемента в волосах детей на его содержание в накипи питьевых вод: $КН = C_{\text{волосы}} / C_{\text{накипь}}$.

Коэффициент концентрации (КК) урана в накипи рассчитан делением концентрации элемента в накипи питьевых вод на его медианное содержание в накипи РБ: $КК_{\text{накипь}} = C_{\text{накипь}} / C_{\text{медиана накипь}}$.

КК урана в волосах рассчитан делением концентрации элемента в волосах на его медианное содержание в волосах жителей РБ: $КК_{\text{волосы}} = C_{\text{волосы}} / C_{\text{медиана волосы}}$.

Ограничения исследования

1. Пробы волос жителей РБ анализируются без учёта пищевых привычек.
2. В выборках для расчета статистических параметров концентрации урана в накипи питьевой воды и волосах детей было проанализировано разное количество проб (515 проб накипи и 182 пробы волос).
3. Корреляционный анализ волосы–накипь проводился по рассчитанному медианному значению

для проб из одинаковых населённых пунктов, общим числом 82 пробы накипи и 140 проб волос.

Результаты

По данным исследования 515 проб медианное содержание урана в накипи питьевых вод РБ составило 5,4 мг/кг (минимальное значение – 0,01, максимальное – 61,0 мг/кг) и оказалось ниже данного показателя в таких регионах России, как Челябинская область (26,0 мг/кг), Республики Бурятия (21,1 мг/кг), Алтай (10,7 мг/кг), а также в Павлодарской области Казахстана (27,4 мг/кг), в то же время выше, чем в Томской (1,9 мг/кг) и Кемеровской (3,9 мг/кг) областях [36]. Статистические параметры распределения урана представлены в табл. 1.

Таблица 1. Статистические параметры распределения U в накипи питьевых вод и в волосах детей на территории РБ

Table 1. Statistical parameters of U content in drinking water scale and children's hair in the Republic of Bashkortostan

Статистические параметры Statistical parameters	U	
	в накипи питьевых вод in scale (N=515)	в волосах детей in children's hair (N=182)
	мг/кг/mg/kg	
Среднее арифметическое ± Стандартная ошибка Arithmetic mean ±Standard error	8,6±0,4	0,06±0,005
Среднее геометрическое Geometric mean	4,9	0,04
Медиана/Median	5,4	0,04
Минимальное значение Minimum	0,01	0,001
Максимальное значение Maximum	61,0	0,41
Стандартное отклонение Standard deviation	9,1	0,07
Асимметрия/Skewness	2,0	2,5
Эксцесс/Kurtosis	4,2	7,4
Коэффициент вариации Variation coefficient, %	102	110

Медианное значение урана в волосах жителей РБ по данным 182 проб составило 0,04 мг/кг (минимальное значение – 0,001, максимальное – 0,411 мг/кг). Данный уровень оказался ниже, чем в Томской, Челябинской, Иркутской областях России, Финляндии, Швеции, Израиле, Ираке, но выше, чем в Кемеровской области, Словении и некоторых районах Бразилии (табл. 2).

Разброс результатов определения урана в различных регионах, представленных в табл. 2, обусловлен, по-видимому, территориальными геоэкологическими особенностями. Преимущественная однонаправленность изменений в содержании урана по данным накипи питьевых вод и волос жителей подтверждает важную роль питьевых вод в формировании уранового профиля организма человека. Подтвержденная собственными и литературными данными корреляция в содержании урана в воде и в волосах человека свидетельствует о целесообразности использования результатов биологического мониторинга для оценки содержания урана в компонентах природной среды.

Таблица 2. Концентрация U в волосах человека в различных регионах мира, среднее арифметическое, ppm
Table 2. Worldwide U concentration in human hair, mean value, ppm

Район исследования Study region	Анализ Analysis	Количество проб Number of samples	U, мг/кг/mg/kg			Источник References
			Медиана Median	Мин. Min	Макс. Max	
Республика Башкортостан, РФ Republic of Bashkortostan, Russia	ИНАА INAA	182	0,04	0,001	0,4	Собственные данные Own data
Кемеровская область, РФ Kemerovo oblast, Russia	ИНАА INAA	17	0,02	0,001	0,2	[19]
	ИСП-МС ICP-MS	23	0,02	0,01	0,2	
Томская область, РФ Tomsk oblast, Russia	ИНАА INAA	534	0,1	0,005	1,7	[37]
Челябинская область, РФ Chelyabinsk oblast, Russia	ИНАА INAA	н.д. n.d.	0,2	н.д. n.d.	н.д. n.d.	[19]
Иркутская область, РФ Irkutsk oblast, Russia	ИНАА INAA	н.д. n.d.	0,3	н.д. n.d.	н.д. n.d.	[19]
Швеция Sweden	ИСП-МС ICP-MS	114	0,07	0,07	0,4	[38]
Бразилия Brazil	ИНАА	22	0,02	0,002	0,1	[39]
Словения Slovenia	ИСП-МС ICP-MS	17	0,01	0,003	0,03	[40]
Япония Japan	ИНАА INAA	67 муж/men	0,04	0,01	0,4	[41]
		81 жен/women	0,1	0,01	1,3	
Израиль Israel	ИСП-МС ICP-MS	99	0,1	0,01	0,2	[42]
Ирак Iraq		29	0,3	0,1	0,4	[43]
Финляндия Finland		852	0,3	0,001	140	[44]
Южно-Африканская Республика Republic of South Africa		27 сборных образцов волос 1332 человек 27 collected hair samples of 1332 people	0,2	0,03	2,5	[45]

Дальнейшее исследование, проведенное на территории РБ, было направлено на выяснение геоэкологических факторов, определяющих региональный урановый статус.

Анализ пространственного распределения урана на территории РБ по его содержанию как в накипи, так и в волосах показал значительную неравномерность и четкую согласованность с региональными геоэкологическими условиями (рис. 1).

Платформенная часть РБ. В платформенной части Башкортостана можно выделить две крупные зоны – северную, отличающуюся низким уровнем урана, а также западную, где уровень урана оказался сравнительно высоким.

Северная отрицательная аномалия. Север республики практически по всей площади характеризуется низкими значениями содержания урана. Так, среднее содержание урана в накипи составило 3,9 мг/кг, что ниже фонового содержания для республики. Средняя концентрация урана в волосах не превышала уровень одноименного показателя по республике и составила 0,04 мг/кг (диапазон значений от 0,003 до 0,256). Полученные результаты закономерны с геологической точки зрения. Именно здесь наиболее широко развиты карбонатно-терригенные породы нижней перми морского генезиса, которые отличаются меньшей радиоактивностью. Карбонатно-терригенными породами сложен северо-восток Башкортостана, на северо-

восточной окраине которого залегают карбонатные породы палеозоя. Обращает внимание, что самая обширная зона минимальных значений урана совпадает с областью максимальной пораженности этой территории поверхностными проявлениями карбонатного карста. Низкий уровень концентраций урана на северо-западе республики приурочен к Камско-Бельскому понижению – области погружения гранито-гнейсового фундамента, который залегает здесь на глубине более 10 км. Увеличение глубины залегания гранитов, отличающихся наиболее высоким содержанием урана – 25 мг на 1 т породы [46], по-видимому, уменьшает доступность исследуемого элемента.

Западная положительная аномалия. Выделенная на западе платформенной части Башкортостана зона является самой крупной по площади положительной урановой аномалией. Среднее содержание урана в накипи здесь оказалось наиболее высоким и составило 15,9 мг/кг, в отдельных населённых пунктах этот показатель достигал максимальных значений для РБ – 61,0 мг/кг.

Изучение уранового статуса жителей было проведено в 5 административных районах, расположенных в границах западной положительной аномалии и охватывающих примерно 3/4 ее территории: Илишевском, Дюртюлинском, Чекмагушевском, Туймазинском, Давлекановском. Во всех исследуемых группах содержание урана превышало его средний уровень и составило 0,07 мг/кг (диапазон значений от 0,002 до 0,294).

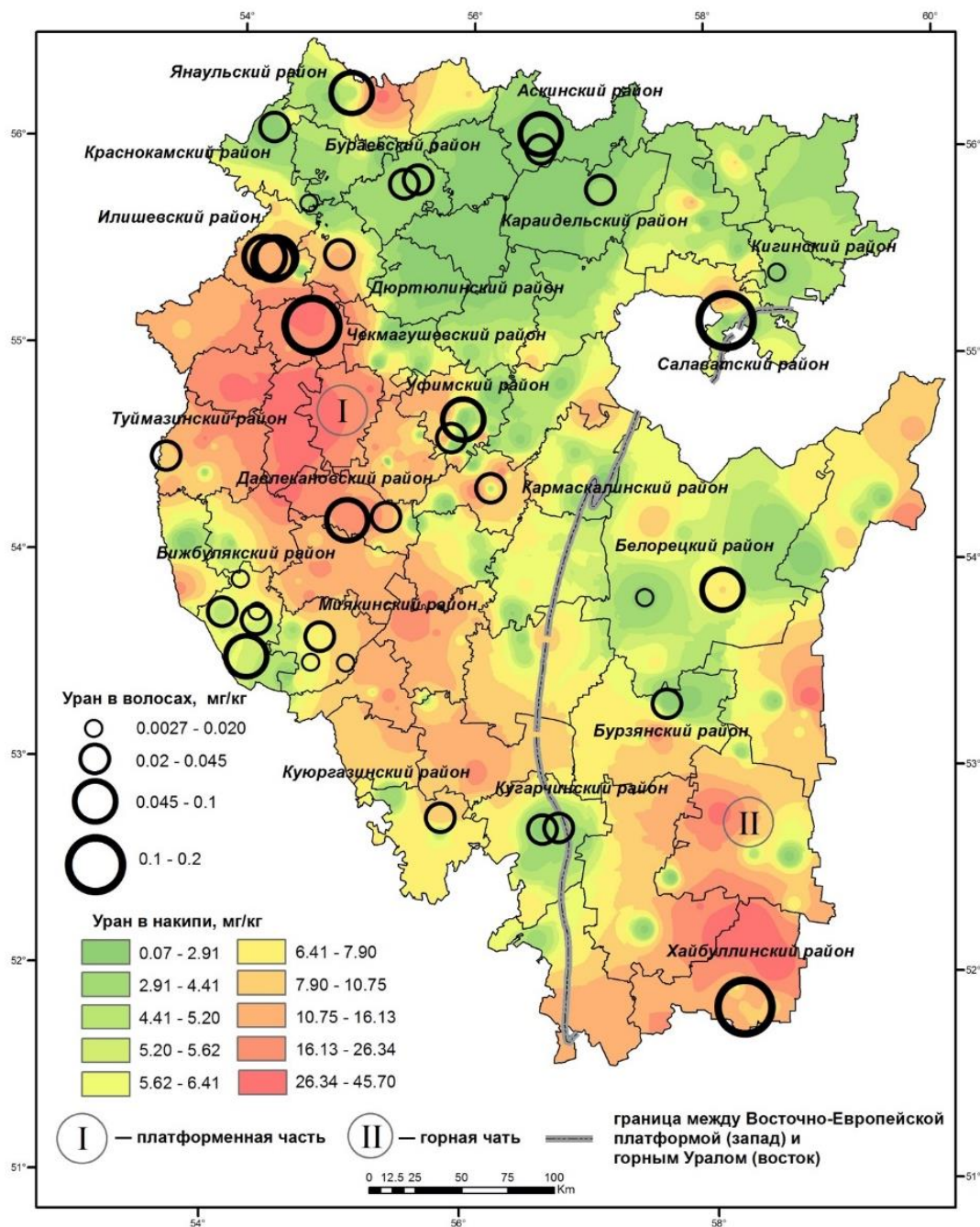


Рис. 1. Карта пространственного распределения урана в накипи питьевых вод и в волосах детей в Республике Башкортостан

Fig. 1. Map of uranium spatial distribution in drinking water scale and hair of children in the Republic of Bashkortostan, mean values for researched settlements

Формирование западной положительной аномалии обусловлено, по-видимому, наличием здесь целого комплекса факторов как природного, так и техногенного характера. Данная территория сложена терригенными осадками континентального генезиса, которые характеризуются относительно большим содержанием урана. Следует отметить широкое распространение пермских красноцветных толщ уфимского яруса. Приуроченные к ним медистые песчаники часто рассматривают как источник урана, меди и других элементов для рудообразующих флюидов [47–49], поэтому названные толщ могут служить одними из

главных ресурсов обогащения ураном водоносных горизонтов.

Обращает внимание совпадение зоны максимальных содержаний урана с положительной структурой гранито-гнейсовых пород кристаллического фундамента, тектонически выделенной как Татарский свод. Проведенные исследования выявили здесь надвиговые дислокации значительной протяженности, к которым приурочены локальные нефтеносные структуры [50]. Наличие тектонических дислокаций повышает доступность элементов-примесей горных пород в связи с нарушением сплошности земной коры и вы-

раженной раздробленностью краевых частей шарьяжных пластин. Кроме того, нефть характеризуется естественной радиоактивностью [51, 52]. По данным литературы, при разработке нефтяных месторождений вместе с нефтью и пластовыми водами на поверхность извлекаются радионуклиды, которые присутствуют и на промышленном оборудовании, что создает опасность для здоровья работников этой отрасли [53, 54].

Нефтедобыча ведется в этой зоне с 1937 г. с открытием крупного Туймазинского месторождения нефти. В 1948 г. здесь впервые начато использование технологии заводнения нефтяных пластов для повышения нефтеотдачи, что повлекло за собой попадание пластовых вод в источники питьевого водоснабжения, их повышенную минерализацию, а также радионуклидное загрязнение, обусловившее особую экологическую напряженность в данном регионе.

В пределах платформенной части Башкортостана по направлению с запада на юго-восток, к зоне Предуральского прогиба, прослеживается тенденция к снижению содержания урана согласно данным анализа накипи питьевых вод, что закономерно с тектонической точки зрения. Предуральский прогиб представляет собой тектоническую структуру, которая образовалась в результате прогибания краевой части Восточно-Европейской платформы под весом шарьированных на нее с востока складчатых сооружений Уральского орогена [55, 56], поэтому глубина залегания гранито-гнейсового фундамента возрастает в юго-восточном направлении от 2–3 до 16–18 км.

Аналогичная тенденция была обнаружена при изучении уранового профиля жителей: в населенных пунктах, расположенных на юго-востоке платформенной части республики, уровень содержания урана в биопробах жителей оказался преимущественно в пределах низких и минимальных значений при средней концентрации 0,03 мг/кг (диапазон от 0,001 до 0,105).

На юго-западе платформенной части республики обращает внимание совпадение ареола относительно невысоких значений урана как в накипи (5,6 мг/кг), так и в волосах (0,03 мг/кг) с зоной распространения карбонатного карста.

Горная часть РБ. Результаты исследования характеризовались сравнительно низким уровнем урана на севере горной части и его высоким содержанием на юге.

Северная горная часть. Среднее значение урана в накипи данной зоны оказалось в пределах фонового показателя по РБ – 5,9 мг/кг, среднее содержание исследуемого элемента в биопробах, взятых из двух районов (Белорецкий и Бурзянский), также было близким к среднему значению по РБ – 0,06 мг/кг (диапазон от 0,003 до 0,155), что согласуется с данными геологического строения. Здесь, на крыльях Башкирского мегантиклинория, залегают карбонатные толщи палеозоя, в которых расположены преимущественно речные русла, в том числе самая крупная водная артерия республики – река Белая.

Сравнительно большая зона низкого уровня содержания урана, расположенная на севере Зилаирского синклинория, приурочена к наиболее крупному выходу гипербазитов в республике – горам Крака, что соответствует данным литературы о снижении уровня урана в зонах развития ультраосновных пород [57].

Южная горная часть. Исследование, проведенное на юго-восточной окраине РБ, на территории Хайбуллинского района, выявило высокое среднее содержание урана как в накипи – 12,9 мг/кг, а в некоторых пробах более 45 мг/кг, так и в волосах – 0,13 мг/кг (диапазон от 0,009 до 0,411). Формирование южной зоны повышенного уровня урана, по видимому, связано с природно-техногенным влиянием. Данная положительная аномалия приурочена к самой крупной на территории РБ области развития горючих сланцев, характеризующихся повышенным содержанием целого ряда металлов, включая уран. Возможное значение принадлежит также тектоническому фактору: южная положительная урановая аномалия расположена в пределах Магнитогорского синклинория – крупной тектонической структуры, состоящей из многочисленных надвинутых друг на друга шарьяжных пластин, сложенных вулканогенно-осадочными породами палеозоя. Высокая концентрация тектонических дислокаций, как отмечалось ранее, облегчает миграцию урана из горных толщ.

Техногенным фактором, способствующим повышению уровня урана в окружающей среде, является разработка здесь, в Хайбуллинском районе, крупного Бурибаевского медно-колчеданного рудного месторождения.

Таким образом, исследования, осуществленные на территории РБ, продемонстрировали согласованность результатов химического анализа накипи питьевых вод и волос человека. Для уточнения степени соответствия данных показателей выполнен корреляционный анализ.

Корреляционный анализ. Проведенный анализ показал, что содержание U в волосах детей с высокой степенью достоверности (r -Пирсона=0,895, достоверность аппроксимации $R^2=0,801$) зависит от его концентрации в накипи питьевых вод (рис. 2). Результаты корреляционного анализа отражают интенсивность поступления урана в организм человека с питьевой водой. Полученные результаты согласуются с данными литературы о способности волос включать металлы в свою структуру в процессе роста и накапливать их в течение продолжительного срока, являясь конечными продуктами метаболизма [58, 59].

Для определения степени аккумуляции урана организмом человека из питьевой воды был рассчитан КН. Данный показатель рассчитан по содержанию урана в накипи, поскольку последняя с высокой степенью достоверности отражает его содержание в воде (от 0,62 до 0,96) [17, 30–33]. Для удобства сопоставления значений были рассчитаны КК для накипи и волос делением содержания урана в пробах на средний уровень элемента по РБ. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

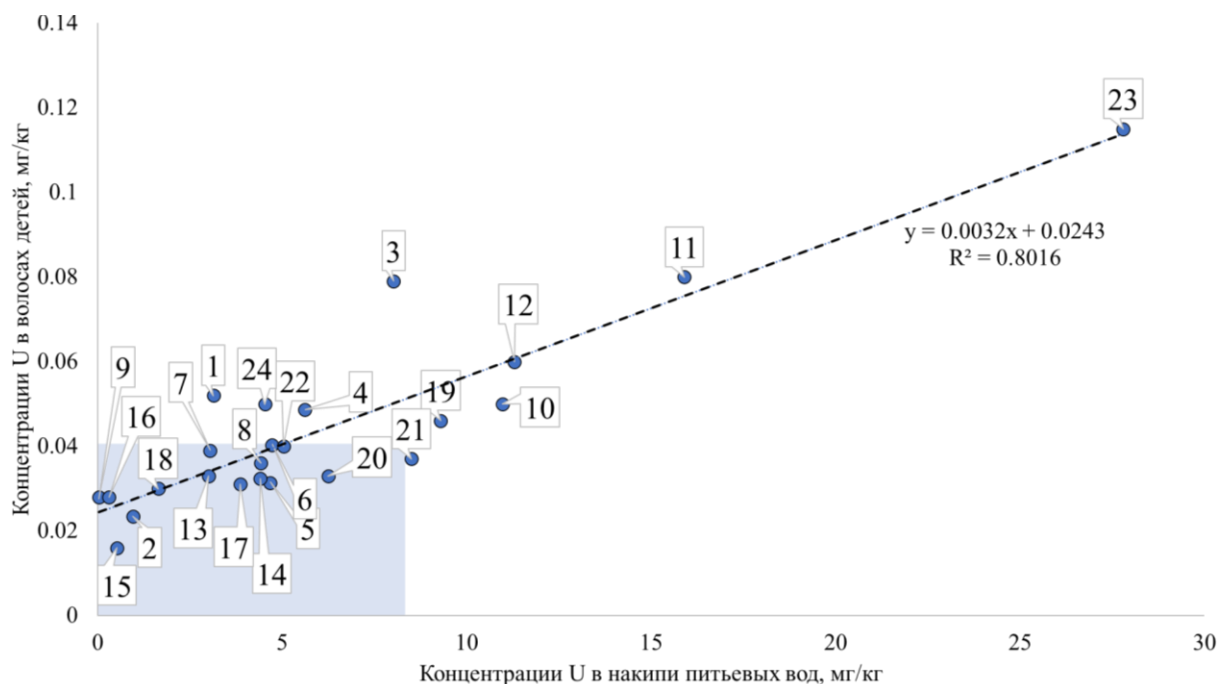


Рис. 2. Корреляционная зависимость концентрации U в волосах детей от его содержания в накипи питьевых вод в РБ, мг/кг ($R^2=0,801$). В синем квадрате – пробы в пределах среднего содержания U по республике. Примечание: Аскинский район: 1. Аскино, 2. Куйаштыр; Белорецкий район: 3. Серменево; Бижбулякский район: 4. Аитово, 5. Бижбуляк, 6. Сухоречка; Буряевский район: 7. Буряево, 8. Чимша-Буряево; Бурзянский район: 9. Яумбаево; Давлекановский район: 10. Давлеканово; Илишевский район: 11. Верхнеяркеево, 12. Старокукотово; Караидельский район: 13. Караидель; Кармаскалинский район: 14. Кармаскалы; Кигинский район: 15. Верхние Киги; Краснокамский район: 16. Нефтекамск; Кугарчинский район: 17. Бикбулатово, 18. Мраково; Куюргазинский район: 19. Кумертау; Миякинский район: 20. Киргиз-мияки; Туймазинский район: 21. Октябрьский; Уфимский район: 22. Нижегородка; Чекамгушевский район: 23. Чекамгуш; Янаульский район: 24. Янаул

Fig. 2. Correlation dependence of U concentration in children's hair and its content in the drinking water scale in the Republic of Bashkortostan, ppm ($R^2=0,801$). The samples within U average content in the Republic are in the blue square. Note: Askinsk region: 1. Askino, 2. Kuyashtyr; Beloretsk region: 3. Sermenevo; Bizhbulyaksk region: 4. Aitovo, 5. Bizhbulyak; 6. Sukhorechka; Buraevsk region: 7. Buraevo, 8. Chishma-Buraevo; Burzyansk region: 9. Yaumbaevo; Davlekanovsk region: 10. Davlekanovo; Ilishevsk region: 11. Verkhneyarkeevo; 12. Starokukotovo; Karaidelsk region: 13. Karaidel; Karmaskalinsk region: 14. Karmaskaly; Kiginsk region: 15. Verkhnie Kigi; Krasnokamsk region: 16. Neftekamsk; Kugarchinsk region: 17. Bikbulatovo; 18. Mrakovo; Kuyurgazinsk region: 19. Kumertau; Miyakinsk region: 20. Kirgiz-miyaki; Tuimazinsk region: 21. Oktyabrsky; Ufimsk region: 22. Nizhegorodka; Chekmagushevsk region: 23. Chekmagush; Yanaulsk region: 24. Yanaul

Согласно данным табл. 3, районы из западной положительной урановой аномалии платформенной части РБ (Туймазинский, Давлекановский, Дюртюлинский, Чекамгушевский, Илишевский), где содержание урана оказалось сравнительно высоким как в накипи, так и в волосах, характеризуются близкими значениями КН.

Различия же коэффициентов концентрации U в накипи и в волосах жителей Салаватского района гипотетически обусловлены поступлением урана в волосы из других источников. В этом районе запланированы дополнительные исследования для выявления источников поступления U в организм человека.

В тройной диаграмме на рис. 3 результаты проб из западной положительной аномалии выделены в отдельную группу, расположенную ближе к оси со значениями концентраций урана в накипи, что свидетельствует о поступлении элемента в организм преимущественно с водой.

В результатах проб из северной платформенной части РБ (Краснокамский, Янаульский, Буряевский, Ас-

кинский районы), которая отличается пониженным содержанием урана в накипи и в волосах (табл. 3), также прослеживается некоторое сходство значений КН, что графически выделяет их в отдельную группу (рис. 3).

Следует отметить, что концентрация урана в волосах жителей не всегда менялась параллельно его содержанию в накипи. Так, в северной горной части РБ (Бурзянский район), содержание исследуемого элемента в волосах было близким к средней концентрации, в то время как содержание в накипи – низким. Вместе с тем КН оказался самым высоким, что указывает на возможность поступления урана из других источников внешней среды, что требует дальнейшего изучения. Аналогичная ситуация на юго-западе платформенной части РБ (Бижбулякский район), где в отдельных населенных пунктах уровень элемента в волосах был выше медианы по республике, несмотря на его близкое к фоновому содержанию в накипи.

Обращают на себя внимание особенности взаимосвязи проб из зоны повышенных значений урана в

накипи и волосах в южной горной части республики (Хайбуллинский район), где КН оказался парадоксально низким. Полученный результат также свидетельствует о возможности других путей поступления урана в организм человека кроме воды. Разработка в этом районе открытым способом крупного рудного

месторождения, упомянутого выше, позволяет предположить, что таким источником является пылевая нагрузка. Такого рода фактор обнаружен в г. Новосибирске при изучении распределения урана в аэрозольных выпадениях [60].

Таблица 3. Коэффициент накопления урана и коэффициенты концентрации урана в накипи и волосах в Республике Башкортостан

Table 3. Uranium accumulation coefficient and uranium concentration coefficient in scale and hair in the Republic of Bashkortostan

Район Region	Населенный пункт Settlement	Коэффициент концентрации U U concentration coefficient		Коэффициент накопления U U accumulation coefficient
		в накипи in scale	в волосах in hair	
Туймазинский Tuimazinsk	Октябрьский Okt'yabrskiy	1,57	0,60	0,003
Давлекановский Davlekanovsk	Давлеканово Davlekanovo	3,24	1,25	0,003
Дюртюлинский Duryulinsk	Дюртюли Duryuli	1,74	0,95	0,004
Куюргазинский Kuyurgazinsk	Кумертау Kumertau	1,72	0,95	0,004
Чекмагушевский Chekmagushevsk	Чекмагуш Chekmagush	5,15	2,88	0,004
Миякинский Miyakinsk	Киргиз-Мияки Kirgiz-Miyaki	1,16	0,75	0,005
Илишевский Ilishevsk	Верхнеяркеево Verkhneyarkeevoo	2,94	2,00	0,005
	Старокуктово Starokuktovo	2,09	1,50	0,005
Бижбулякский Bizhbulyaksk	Бижбуляк Bizhbulyak	0,86	0,79	0,007
Кармаскалинский Karmaskalinsk	Кармаскалы Karmaskaly	0,82	0,81	0,007
Хайбуллинский Khaibullinsky	Акъяр Akyar	3,24	3,25	0,007
Кугарчинский Kugarchinsk	Бикбулатово Bikbulatovo	0,71	0,75	0,008
Уфимский Ufinsk	Нижегородка Nizhegorodka	0,93	1,00	0,008
Бураевский Buraevsk	Чишма-Бураево Chishma-Buraevo	0,82	0,90	0,008
Бижбулякский Bizhbulyaksk	Сухоречка Sukhorechka	0,87	1,01	0,009
	Аитово Aitovo	1,04	1,22	0,009
Белорецкий Beloretsk	Серменево Sermenevo	1,49	1,98	0,010
Карaidельский Karaidelsk	Карaidель Karaidel	0,56	0,75	0,010
Янаулский Yanaulsk	Янаул Yanaul	0,84	1,25	0,011
Бураевский Buraevsk	Бураево Buraevo	0,56	0,98	0,013
Кугарчинский Kugarchinsk	Мраково Mrakovo	0,30	0,75	0,018
Аскинский Askinsk	Аскино Askino	0,58	1,78	0,023
	Куяштыр Kuyashtyr	0,18	0,59	0,025
Кигинский Kiginsk	Верхние Киги Verkhnie Kigi	0,10	0,33	0,025
Уфимский Ufinsk	Уфа Ufa	0,34	1,20	0,026
Салаватский Salavatsk	Малояз Maloyaz	0,40	4,84	0,089
Краснокамский Krasnokamsk	Нефтекамск Neftekamsk	0,06	0,75	0,100
Бурзянский Burzyansk	Яумбаево Yaumbaevoo	0,01	0,70	0,700

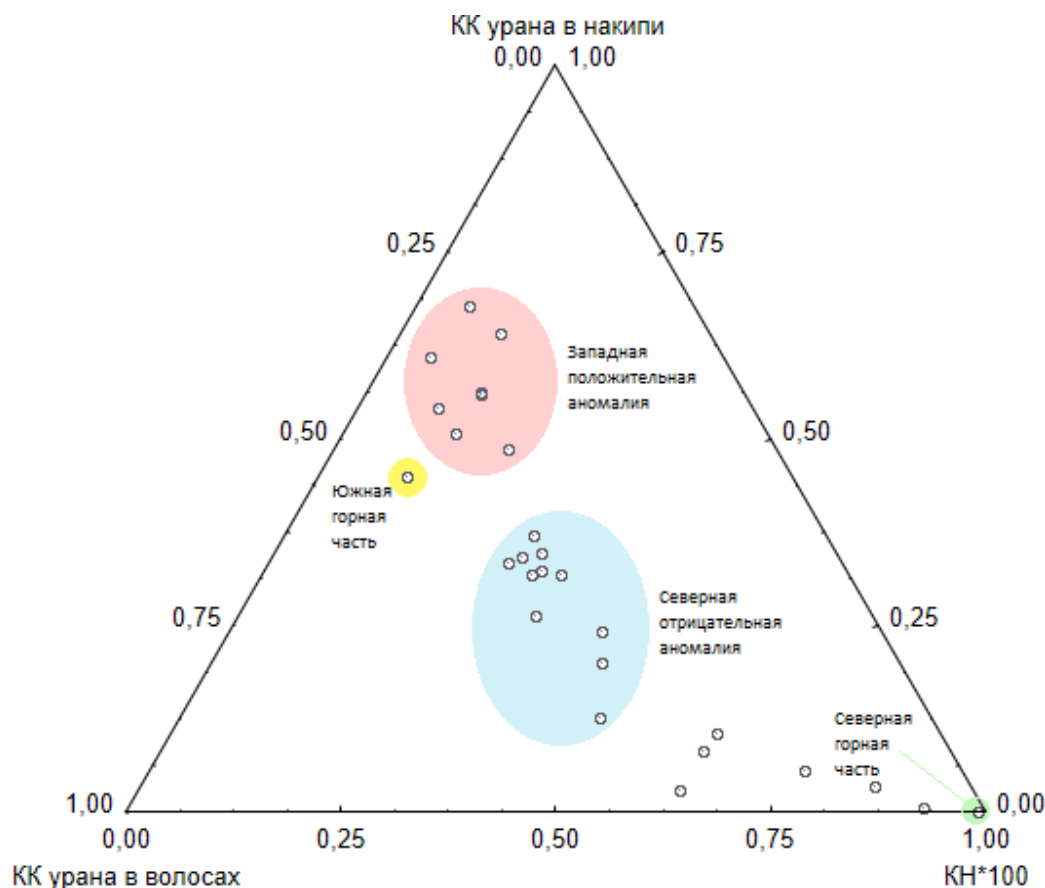


Рис. 3. Тройная диаграмма коэффициента концентрации U в накипи, коэффициента концентрации U в волосах и коэффициента накопления U

Fig. 3. Ternary diagram of U concentration coefficient in scale, U concentration coefficient in hair and U accumulation coefficient

Обсуждение

Согласно полученным данным о закономерностях распределения урана на территории РБ, в оценке регионального уранового статуса следует принимать во внимание целый ряд геоэкологических факторов, включая природные и техногенные. Среди природных факторов важная роль принадлежит литологическим особенностям: в зонах развития карбонатных толщ и ультраосновных магматических пород уровень урана сравнительно ниже, в то время как осадочные отложения континентального происхождения (красноцветные песчаники), магматические породы кислого состава (граниты), а также такие метаморфические породы, как горючие сланцы, характеризуются более высокими содержаниями урана. Наиболее богатым источником урана в природной среде являются граниты, поэтому в формировании регионального уранового статуса имеет значение глубина залегания гранито-гнейсового фундамента, с увеличением которой доступность урана в окружающей среде снижается. Следует учитывать гидрогеологический фактор и характер пород в зоне питания грунтовых вод. Важная роль принадлежит также тектоническим дислокациям, обуславливающим нарушение сплошности земной коры и милонитизацию краевых частей шарьяжных пластин, что повышает миграцию урана. Среди техногенных факторов имеет

значение разработка нефтяных и рудных месторождений.

Следует подчеркнуть, что оценка регионального уранового профиля требует комплексного анализа перечисленных факторов, поскольку их взаимное влияние может носить как усиливающий, так и нивелирующий характер. Так, в формировании наиболее крупной положительной урановой аномалии на западе республики, по-видимому, имеет значение сочетание нескольких однонаправленных природных и техногенных факторов: широкое площадное развитие красноцветных пермских песчаников, сравнительно меньшая глубина залегания гранито-гнейсового фундамента, наличие тектонических дислокаций и разработка нефтяных месторождений. Обнаруженная в горной части республики южная положительная аномалия также обусловлена влиянием комплекса природно-техногенных факторов – наличие здесь зоны развития горючих сланцев и нарушение сплошности земной коры, связанной с высокой концентрацией тектонических дислокаций и добычей медно-колчеданных руд. Вместе с тем север горной части Башкортостана, где также имеют место тектонические нарушения и ведется разработка месторождений, характеризуется преимущественно низким уровнем урана, что может быть обусловлено выходами карбонатных отложений и гипербазитов.

По результатам исследования, включая корреляционный анализ, основным источником поступления урана в организм человека является питьевая вода. Волосы человека, учитывая их депонирующую способность, представляют собой информативный биоматериал для оценки интенсивности поступления данного химического элемента из окружающей среды, урановый статус которой в свою очередь определяется геоэкологическими особенностями региона.

Полученные данные о более высоком содержании урана в волосах детей, проживающих в Башкортостане, по сравнению с его концентрацией в волосах детей других регионов и его прямой зависимости от концентрации в накипи питьевых вод свидетельствуют о значимости контроля качества питьевой воды.

Заключение

Результаты исследования показали, что геоэкологические условия местности имеют ведущее значение в формировании регионального уранового статуса. Установленная прямая связь между содержанием урана в накипи питьевых вод и в волосах жителей, а также четкая согласованность пространственного распределения урана с геоэкологическими условиями местности отражают высокую информативность дан-

ных методов исследования для оценки регионального уранового статуса. Вместе с тем комплексный анализ геоэкологических факторов (литологический, геоморфологический, тектонический, гидрогеологический и техногенный) позволяет прогнозировать особенности регионального уранового профиля. Проведенный корреляционный анализ подтвердил прямую зависимость содержания U в волосах детей от его концентрации в накипи питьевых вод, что свидетельствует о ведущей роли питьевой воды в поступлении урана в организм человека.

Учитывая выявленный более высокий уровень содержания урана в волосах жителей Башкортостана по сравнению с его концентрацией в волосах жителей ряда других регионов РФ и мира, а также способность данного химического элемента к кумуляции в организме, особую актуальность приобретает изучение влияния уранового статуса на состояние здоровья населения. Полученные результаты могут служить теоретической базой для выяснения биологической роли урана и решения фундаментальной проблемы связи геоэкологии и здоровья человека.

Отбор и анализ волос детей, и последующая обработка данных выполнены в рамках реализации гранта Российского научного фонда (проект № 22-27-00748).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siegel M., Selinus O., Finkelman R. Practical applications of medical geology. – Springer Nature Switzerland AG, 2021. – 932 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53893-4> (дата обращения 15.06.2023).
2. Selinus O., Centeno J.A., Finkelman R.B. Medical geology – a regional synthesis. – Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2010. – 321 p.
3. Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Судыко А.Ф. Химические элементы в организме человека как основа для реализации идей медицинской геологии // Горный журнал. 2013. – № 3. – С. 37–42.
4. Hasan SE. Medical Geology // Encyclopedia of Geology. – 2021. – № 684–702. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.12523-0.
5. Ibaraki M., Mori H. Progress in medical geology. – Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, 2017. – 234 p.
6. Volfson I.F., Paul W., Pechenkin I.G. Geochemical anomalies: Sickness and health // Man and the Geosphere (Earth Sciences in the 21st Century). – New York: Nova Science Publishers, 2010. – P. 69–113.
7. Очерки геохимии человека: монография / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова, Д.В. Наркович, О.А. Денисова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 378 с.
8. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Шатилов А.Ю. Методика комплексной эколого-геохимической оценки территорий для решения геологических задач // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего востока и Северо-востока России. – Томск, 2000. – Т. 2. – С. 246–248.
9. Historical aspects of medical geology / I. Farkhutdinov, L. Farkhutdinova, A. Zlobina, A. Farkhutdinov, I. Volfson, I. Matveenko // Earth Sciences History. – 2020. – V. 39. – № 1. – P. 172–183. DOI: 10.17704/1944-6187-39.1.172.
10. Геохимические особенности солевых образований питьевых вод Южного Казахстана / Б.У. Шарипова, А.А. Какабаев, Н.В. Барановская, Ш.Ж. Арынова, Н.П. Корогод // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 7. – С. 137–148. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/7/3621>.
11. Li P., Wu J. Medical geology and medical geochemistry: an editorial introduction // Expo Health. – 2022. – № 14. – P. 217–218. URL: <https://doi.org/10.1007/s12403-022-00479-z> (дата обращения 15.06.2023).

12. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
13. Cohtem C.R., Lappenbuch W.L. Occurrence of uranium in drinking water in US // Health Phys. – 1983. – V. 45. – № 1. – P. 89–99. DOI: 10.1097/00004032-198307000-00009
14. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды на территории Томской области / Н.В. Барановская, Е.В. Агеева, Б.П. Соколов, Д.В. Наркович, О.А. Денисова, Т.В. Матковская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 2. – С. 17–28. DOI: 10.18799/24131830/2020/2/2477.
15. Uranium in drinking water: a public health threat / G. Björklund, Yu. Semenova, L. Pivina, M. Dadar, Md M. Rahman, J. Aarseth, S. Chirumbolo // Arch. Toxicol. – 2020. – № 94. – P. 1551–1560.
16. Carvalho F.P. Uranium mining legacy and radiation protection // Rad. Applic. – 2018. – V. 3. – № 1. – P. 1–6. DOI: 10.21175/RadJ.2018.01.001.
17. Арынова Ш. Элементный состав солевых образований из природных пресных вод как индикатор экологической безопасности водопользования: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2017. – 22 с.
18. Геохимические особенности радиоактивных элементов в солевых отложениях питьевых вод Северного Казахстана / Г.Е. Байкенова, Н.В. Барановская, А.А. Какабаев, Р.И. Берсимбаев // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы VI Международной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – Т. 1. – С. 72–75.
19. Агеева Е.В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды как индикаторы эколого-геохимических обстановок (на примере Томской и Кемеровской областей): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2022. – 22 с.
20. Winde F., Erasmus E.B., Geipel G. Uranium contaminated drinking water linked to leukaemia – revisiting a case study from South Africa taking alternative exposure pathways into account // Science of the Total Environment. – 2017. – № 574. – P. 400–421.
21. Chronic ingestion of uranium in drinking water: a study of kidney bioeffects in humans / M.L. Zamora, B.L. Tracy, J.M. Zielinski, D.P. Meyerhof, M.A. Moss // Toxicol. Sci. – 1998. – V. 43. – № 1. – P. 68–77.
22. Groundwater uranium and cancer incidence in South Carolina / S.E. Wagner, J.B. Burch, M. Bottai, R. Puett, D. Porter, S. Bolick-Aldrich, T. Temples, R.C. Wilkerson, J.E. Vena, J.R. Hébert //

- Cancer Causes Control. – 2011. – № 22. – P. 41–50. URL: <https://doi.org/10.1007/s10552-010-9669-4> (дата обращения 15.06.2023).
23. Impact of environmental radiation on the incidence of cancer and birth defects in regions with high natural radioactivity / A. Zlobina, I. Farkhutdinov, F.P. Carvalho, N. Wang, T. Korotchenko, N. Baranovskaya, A. Farkhutdinov // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – V. 19. – № (14):8643. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph19148643> (дата обращения 15.06.2023).
24. Heavy metal uranium affects the brain cholinergic system in rat following sub-chronic and chronic exposure / H. Bensoussan, L. Grancoles, B. Dhieux-Lestaevel, O. Delissen, C.M. Vacher, I. Dublineau, P. Voisin, P. Gourmelon, M. Taouis, P. Lestaevel // Toxicology. – 2009. – V. 261. – № 1–2. – P. 59–67. DOI: 10.1016/j.tox.2009.04.054.
25. Миняйло Л. Элементный состав волос жителей городов Северо-Западной Сибири с различной очисткой питьевой воды // Экология человека. – 2019. – № 11. – С. 4–11. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-11-4-11.
26. Корчина Т.Я. Корреляционные связи между концентрацией химических элементов в волосах аборигенов Тюменского севера и их содержанием в природных водах региона // Вестник восстановительной медицины. – 2008. – № 5А (28). – С. 38–41.
27. Hair analysis as an indicator of exposure to uranium / K. Kehagia, S. Bratakos, M. Kolovou, C. Potiriadis // Radiation Protection Dosimetry. – 2010. – V. 144. – № 1–4. – P. 423–426. DOI: 10.1093/rpd/ncq324
28. Human hair radioactivity in the Chernobyl area / A.A. Kist, R.I. Radyuk, L.I. Zhuk, V.P. Pikul, A.D. Belyaev // J. Alloys Compd. – 1994. – V. 213/214. – P. 81–85.
29. A survey of uranium and thorium background levels in water, urine, and hair and determination of uranium enrichments by ICP-MS / A.H. Mohagheghi, S.T. Shanks, J.A. Zigmund, G.L. Simmons, S.L. Ward // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2005. – V. 263. – № 1. – P. 189–195.
30. Uranium in man-made carbonates on the territory of Ufa / I.M. Farkhutdinov, R.R. Khayrullin, B.R. Soktoev, A.N. Zlobina, E.I. Chesalova, A.M. Farkhutdinov, A.V. Tkachev // Journal of Mining Institute. – 2023. – P. 1–12. URL: <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.4> (дата обращения 15.06.2023).
31. Монголина Т., Барановская Н., Соктоев Б. Элементный состав солевых отложений питьевых вод Томской области // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 204–211.
32. Язиков Е.Г., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. Индикаторная роль солевых образований в воде при геохимическом мониторинге // Известия вузов. Геология и разведка. – 2004. – № 1. – С. 67–69.
33. Evaluation of drinking water according to geochemical composition of its salt deposition / L.P. Rikhvanov, N.V. Baranovskaya, B.R. Soktoev, T.A. Mongolina // Environmental Engineering: Proceedings of 8th International Conference. – Vilnius, Lithuania, May 19–20, 2011. – P. 337–342.
34. Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements. Ap. II. Technical reports series / V. Fassel, V. Guinn, W. Haas, K. Hambidge, E. Hamilton, J. Hoste. – Vienna: IAEA, 1980. – № 197. – P. 351–367.
35. Судыко А.Ф. Определение урана, тория, скандия и некоторых редкоземельных элементов в двадцати четырех стандартных образцах сравнения инструментальным нейтронно-активационным методом // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы V Международной конференции. – Томск: СТУ, 2016. – С. 620–624.
36. Соктоев Б.Р., Рихванов Л.П., Арынова Ш.Ж. Естественные радиоактивные элементы (Th, U) в солевых отложениях природных пресных вод // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы V Международной конференции. – Томск, 2016. – С. 599–603.
37. Наркович Д.В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории (на примере Томской области): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2012. – 24 с.
38. Rodushkin I., Axelsson M.D. Application of double focusing sector field ICP-MS for multielement characterisation of human hair and nails. P. II A study of the inhabitants of northern Sweden // Sci. Tot. Environment. – 2000. – № 262. – P. 21–36. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00531-3.
39. Determination of Uranium in human head hair of a Brazilian population group by epithermal neutron activation analysis / A.U. Akamine, M.A. Duchon Silva, M. Saiki, M.B.A. Vasconcellos, S.L. de Andrade, R. Fulfaro // J Radioanal Nucl. Chem. – 2007. – V. 271. – P. 607–609. DOI: 607-609. 10.1007/s10967-007-0315-x.
40. Byrne A.R., Benedick L. Uranium content of blood, urine and hair of exposed and non exposed persons determined by radiochemical neutron activation analysis with emphasis on quality control // Sci Total Environ. – 1991. – № 107. – P. 143–157.
41. Multielement neutron activation analysis of human scalp hair. A local population survey in the Tokyo metropolitan area / A. Imahori, I. Fukushima, S. Shiobara, Y. Yanagida, K. Tomura // J Radioanal Chem. – 1997. – V. 52. – № 1. – P. 167–180. DOI: 10.1007/BF02517711.
42. Determination of Uranium in human hair by acid digestion and FIAS-ICPMS / R. Gonen, R. Kol, Y. Laichter, L. Halicz, A. Lorber, Z. Karpas // J Radioanalytical Nucl. Chem. – 2000. – V. 243. – № 2. – P. 559–562. DOI: 10.1023/A:1016031726512.
43. Uranium and other contaminants in hair from the parents of children with congenital anomalies in Fallujah, Iraq / S. Alaani, M. Tafash, C. Busby, M. Hamdan, E. Blaurock-Busch // ConfHealth. – 2011. – V. 5. – № 15. URL: <https://doi.org/10.1186/1752-1505-5-15> (дата обращения 15.06.2023).
44. The mean concentration of Uranium in drinking water, urine and hair of the occupationally unexposed Finnish working population / M. Muikku, M. Puhakainen, T. Heikinen, T. Iius // Health Phys. – 2009. – V. 96. – № 6. – P. 646–654. DOI: 10.1097/01.HP.0000345026.98668.c4.
45. Human exposure to uranium in South African gold mining areas using barber-based hair sampling / F. Winde, G. Geipel, C. Espina, J. Schu'z // PLoS ONE. – 2019. – V. 14. – № 6. – e0219059. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219059> (дата обращения 15.06.2023).
46. Станцо В.В., Черненко М.Б. Популярная библиотека химических элементов. – М.: Наука, 1983. – Кн. I. – 574 с.
47. Геохимические особенности и условия образования медистых песчаников Оренбургского Предуралья / А.В. Волков, И.А. Новиков, А.А. Разумовский, К.Ю. Мурашов, Н.В. Сидорова // Литосфера. – 2018. – Т. 18. – № 4. – С. 593–606.
48. Контарь Е.С. Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы). – Екатеринбург: УГТУ, 2013. – 199 с.
49. Dahlkamp F.J. Geology of uranium deposits. – Berlin: Springer, 1993. – 460 p.
50. Камалетдинов М.А. К 65-летию открытия девонской нефти Волго-Урала // Георесурсы. – 2009. – № 1. – С. 46–48.
51. Соболев И.С. Методы радиогеохимии при наземных поисках месторождений нефти и газа // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 90–96.
52. Reddy A.S., Rao N.V. Radiation anomaly correlation helpful in Krishna Godavari basin // Oil and Gas Journal. – 2002. – April 15. – P. 38–42.
53. Al-Masri M.S., Aba A. Distribution of scale containing NORM in different oilfields equipment // Appl. Radiat. Isotopes. – 2005. – V. 63. – P. 457–463.
54. Khalid Al Nabhani, Faisal Khan, Ming Yang. Technologically enhanced naturally occurring radioactive materials in oil and gas production: a silent killer // Process Safety and Environmental Protection. – 2016. – V. 99. – P. 237–247. URL: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.09.014> (дата обращения 15.06.2023).
55. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. – М.: Наука, 1974. – 230 с.
56. Геологическая карта Башкортостана (масштаб 1:600000) / под ред. М.А. Камалетдинова. – М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1980. – 50 с.
57. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 383 с.
58. Using human hair and nails as biomarkers to assess exposure of potentially harmful elements to populations living near mine waste dumps / L. Nakaona, K.K. Maseka, E.M. Hamilton, M.J. Watts //

- Environ Geochem Health. – 2020. – № 42. – P. 1197–1209. URL: <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00376-6> (дата обращения 15.06.2023).
59. Heavy metals in fish, rice, and human hair and health risk assessment in Wuhan city, central China / M.U. Ali, Ch. Wang, Y. Li, R. Li, Sh. Yang, L. Ding, L. Feng, B. Wang, P. Li, M.H. Wong // Environmental Pollution. – 2023. – V. 328. – № 12160. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121604> (дата обращения 15.06.2023).
60. Анализ распределения урана в аэрозольных выпадениях на территории города Новосибирска / Л.А. Дорохова, Д.В. Юсупов, А.С. Торопов, В.Ф. Рапуга, Л.М. Павлова, В.И. Радомская, А.Ф. Судыко, Н.В. Барановская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 1. – С. 7–18.

Поступила: 24.06.2023 г.

Прошла рецензирование: 17.07.2023 г.

Информация об авторах

Злобина А.Н., кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии факультета наук о Земле и туризма Уфимского университета науки и технологии.

Фархутдинова Л.М., доктор медицинских наук, профессор кафедры терапии и общей врачебной практики с курсом гериатрии Башкирского государственного медицинского университета.

Фархутдинов И.М., кандидат геолого-минералогических наук, главный менеджер ООО «РН-БашНИПИнефть»; ученый секретарь Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН.

Беляновская А.И., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии и эволюции палеобиосферы Тюменского государственного университета.

Барановская Н.В., доктор биологических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Чесалова Е.И., научный сотрудник Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского РАН.

Фархутдинов А.М., кандидат геолого-минералогических наук, исследователь университета Сержи-Париж.

Хайрулина Л.А., старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии факультета наук о Земле и туризма Уфимского университета науки и технологии.

Крестьянникова Е.В., лаборант-исследователь центра изотопной биогеохимии Тюменского государственного университета; младший научный сотрудник лаборатории хроматографии и элементного анализа Института фармации Тюменского государственного медицинского университета; старший преподаватель строительного института Тюменского индустриального университета.

UDC 550.46, 550.47

PATTERNS OF THE REGIONAL URANIUM STATUS FORMATION ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Anastasia N. Zlobina¹,
anastasiyazl@mail.ru

Leila M. Farkhutdinova²,
farkhutdinova@gmail.com

Iskhak M. Farkhutdinov^{3,4},
iskhakgeo@gmail.com

Alexandra I. Belyanovskaya⁵,
alexandra.belyanovskaya@outlook.com

Natalia V. Baranovskaya⁶,
nata@tpu.ru

Elena I. Chesalova⁴,
chesalova_ei@mail.ru

Anvar M. Farkhutdinov⁷,
anvar.farkhutdinov@cyu.fr

Larisa A. Khayrulina¹,
artthemix@mail.ru

Elizaveta V. Krestyannikova^{5,8,9},
li3452@yandex.ru

¹ Ufa University of Science and Technology,
32, Zaki Validy street, Ufa, 450076, Russia.

² Bashkir State Medical University,
3, Lenin street, Ufa, 450000, Russia.

³ OOO RN-BashNIPneft,
3/1, Bekhtereva street, Ufa, 450103, Russia.

⁴ Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences,
11/11, Mokhovaya street, Moscow, 103009, Russia.

⁵ Tyumen State University,
6, Volodarsky street, Tyumen, 625003, Russia.

⁶ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

⁷ CY Cergy Paris University,
33, De Port avenue, Cergy-Pontoise, 95000, France.

⁸ Tyumen State Medical University,
54, Odesskaya street, Tyumen, 625023, Russia.

⁹ Tyumen Industrial University,
38, Volodarsky street, Tyumen, 625000, Russia.

The relevance of the research. Uranium is a radioactive, carcinogenic, toxic element that can be accumulated in human body and cause various pathologies (risk of kidney dysfunction, development of leukemia, colorectal cancer etc.). This determines the relevance of studying the patterns of this chemical element distribution in the living environment. Drinking water is the main source of uranium for the human body. This fact can be confirmed by calculating the accumulation coefficient and correlation analysis, which showed a high dependence of uranium concentration in hair on its content in drinking water scale. The method for assessing the uranium status of a territory, including geochemical, lithological, hydrogeological, tectonic analyses, and the study of technogenic factors, makes it possible to fairly accurately determine the main sources of uranium feeding of drinking water.

The main aim: to assess the significance of geoeological factors on the territory of the Republic of Bashkortostan in the formation of the regional uranium status based on the study of uranium content in drinking water and hair of residents.

Methods. Uranium concentration in drinking water scale and the hair of children was studied using instrumental neutron activation analysis applying the research nuclear reactor IRT-T TPU. For data processing, the Statistica 10 and Microsoft Excel 2013 software packages were used. A map of uranium spatial distribution was built using the ArcGIS 10.2 software in the Geostatistical Analyst module applying the inverse distance weighting method.

Results. On the territory of the Republic of Bashkortostan, there is a wide range of uranium values both in drinking water scale (range from 0,01 to 61,0 mg/kg) and in hair of residents (range from 0,001 to 0,411 mg/kg). The average content of uranium in drinking water scale (515 samples) was 5,4 mg/kg and in hair (182 samples) was 0,04 mg/kg. Uranium spatial distribution is in clear agreement with the geoeological conditions of the area. Zones of increased uranium concentration in scale and hair are distinguished, where uranium content is higher than the background value in the republic: western platform and southern mountain zones. Along with positive anomalies, there are negative ones, where the level of the element is below the average: the northern platform and northern mountain zones. Uneven uranium distribution is explained by both natural (a wide variety of rocks, hydrogeological and tectonic factors) and technogenic factors (development of oil and ore deposits). The conducted correlation analysis showed a direct dependence of U content in children's hair on its

concentration in drinking water scale ($R^2=0,8$), which indicates the leading role of drinking water in uranium intake into human body. Considering the revealed higher level of uranium in hair of the inhabitants of Bashkortostan compared to a number of other regions of the Russian Federation and the world, as well as the ability of this chemical element to be accumulated in the body, the study of the uranium status influence on health of the population is of particular relevance. The results obtained can serve as a theoretical basis for elucidating uranium biological role and solving the fundamental problem of the relationship between geoecology and human health.

Key words:

natural radioactivity, scale of drinking water, chemical composition of hair, geochemistry, geoecology.

Sampling and analysis of children's hair, and data processing were carried out within the framework of implementation of the Russian Science Foundation grant (project no. 22-27-00748).

REFERENCES

- Siegel M., Selinus O., Finkelman R. *Practical applications of medical geology*. Springer Nature Switzerland AG, 2021. 932 p. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-53893-4> (accessed 15 June 2023).
- Selinus O., Centeno J.A., Finkelman R.B. *Medical geology – a regional synthesis*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York, Springer, 2010. 321 p.
- Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Sudyko A.F. Chemical elements in the human body as the basis for implementing the ideas of medical geology. *Gorny zhurnal*, 2013, no. 3, pp. 37–42. In Rus.
- Hasan S.E. Medical Geology. *Encyclopedia of Geology*, 2021, pp. 684–702. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.12523-0.
- Ibaraki M., Mori H. *Progress in medical geology*. Newcastle upon Tyne, Cambridge Scholars Publ., 2017. 234 p.
- Volfson I.F., Paul W., Pechenkin I.G. Geochemical anomalies: sickness and health. *Man and the Geosphere (Earth Sciences in the 21st Century)*. New York, Nova Science Publ., 2010. pp. 69–113.
- Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P., Ignatova T.N., Narkovich D.V., Denisova O.A. *Ocherki geokhimii cheloveka: monografiya* [Essays on human geochemistry. Monography]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2015. 378 p.
- Yazikov E.G., Rikhvanov L.P., Shatilov A.Yu. Metodika kompleksnoy ekologo-geokhimicheskoy otsenki territoriy dlya resheniya geologicheskikh zadach [Methodology of complex ecological and geochemical assessment of territories for solving geological problems]. *Materialy regionalnoy konferentsii geologov Sibiri, Dalnego vostoka i Severo-vostoka Rossii* [Materials of the regional conference of geologists of Siberia, the Far East and the North-East of Russia]. Tomsk, 2000. Vol. 2, pp. 246–248.
- Farkhutdinov I., Farkhutdinova L., Zlobina A., Farkhutdinov A., Volfson I., Matveenko I. Historical aspects of medical geology. *Earth Sciences History*, 2020, vol. 39, no. 1, pp. 172–183. DOI: 10.17704/1944-6187-39.1.172.
- Sharipova B.U., Kakabaev A.A., Baranovskaya N.V., Arynova Sh.G., Kogorod N.P. Geochemical features of salt formations of drinking waters of Southern Kazakhstan. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 7, pp. 137–148. In Rus. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/7/3621>.
- Li P., Wu J. Medical geology and medical geochemistry: an editorial introduction. *Expo Health*, 2022, no 14, pp. 217–218. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12403-022-00479-z> (accessed 15 June 2023).
- Rikhvanov L.P. *Obshchie i regionalnye problemy radioekologii* [General and regional problems of radioecology]. Tomsk, TPU Publ. house, 1997. 384 p.
- Cohtern C.R., Lappenbuch W.L. Occurrence of uranium in drinking water in US. *Health Phys.*, 1983, vol. 45, no. 1, pp. 89–99. DOI: 10.1097/0004032-198307000-00009.
- Baranovskaya N.V., Ageeva E.V., Soktoev B.R., Narkovich D.V., Denisova O.A., Matkovskaya T.V. Rare earth and radioactive (Th, U) elements in the components of the natural environment in the Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 2, pp. 17–28. In Rus. DOI: 10.18799/24131830/2020/2/2477.
- Björklund G., Semenova Yu., Pivina L., Dadar M., Rahman Md M., Aarseth J., Chirumbolo S. Uranium in drinking water: a public health threat. *Arch. Toxicol.*, 2020, no. 94, pp. 1551–1560.
- Carvalho F.P. Uranium mining legacy and radiation protection. *Rad. Applic.*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 1–6. DOI: 10.21175/RadJ.2018.01.001.
- Arynova S.H. *Elementny sostav solevykh obrazovaniy iz prirodnykh presnykh vod kak indikator ekologicheskoy bezopasnosti vodopolzovaniya*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [The elemental composition of salt formations from natural fresh waters as an indicator of environmental safety of water use. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2017. 22 p.
- Baykenova G.E., Baranovskaya N.V., Kakabaev A.A., Bersimbaev R.I. Geokhimicheskie osobennosti radioaktivnykh elementov v solevykh otlozheniyakh pitevykh vod Severnogo Kazakhstana [Geochemical features of radioactive elements in salt deposits of drinking waters of Northern Kazakhstan]. *Radioaktivnost i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka. Materialy VI Mezhdunarodnoy konferentsii* [Radioactivity and radioactive elements in human habitat. Proc. of the VI International Conference]. Tomsk, TPU Publ. house, 2021. Vol. 1, pp. 72–75.
- Ageeva E.V. Redkozemelnye i radioaktivnye (Th, U) elementy v komponentakh prirodnoy sredy kak indikatory ekologo-geokhimicheskikh obstanovok (na primere Tomskoy i Kemerovskoy oblastey). Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Rare earth and radioactive (Th, U) elements in the components of the natural environment as indicators of ecological and geochemical conditions (on the example of the Tomsk and Kemerovo regions). Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2022. 22 p.
- Winde F., Erasmus E.B., Geipel G. Uranium contaminated drinking water linked to leukaemia – revisiting a case study from South Africa taking alternative exposure pathways into account. *Science of the Total Environment*, 2017, no. 574, pp. 400–421.
- Zamora M.L., Tracy B.L., Zielinski J.M., Meyerhof D.P., Moss M.A. Chronic ingestion of uranium in drinking water: a study of kidney bioeffects in humans. *Toxicol. Sci.*, 1998, vol. 43, no. 1, pp. 68–77.
- Wagner S.E., Burch J.B., Bottai M., Puett R., Porter D., Bolick-Aldrich S., Temples T., Wilkerson R.C., Vena J.E., Hébert J.R. Groundwater uranium and cancer incidence in South Carolina. *Cancer Causes Control*, 2011, no. 22, pp. 41–50. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10552-010-9669-4> (accessed 15 June 2023).
- Zlobina A., Farkhutdinov I., Carvalho F.P., Wang N., Korotchenko T., Baranovskaya N., Farkhutdinov A. Impact of environmental radiation on the incidence of cancer and birth defects in regions with high natural radioactivity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19, no. (14):8643. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph19148643> (accessed 15 June 2023).
- Bensoussan H., Grancolas L., Dhieux-Lestaevél B., Delissen O., Vacher C.M., Dublineau I., Voisin P., Gourmelon P., Taouis M., Lestaevél P. Heavy metal uranium affects the brain cholinergic system in rat following sub-chronic and chronic exposure. *Toxicology*, 2009, vol. 261, no. 1–2, pp. 59–67. DOI: 10.1016/j.tox.2009.04.054.
- Minyailo L. Elemental composition of hair of residents of cities of North-Western Siberia with various purification of drinking water. *Human ecology*, 2019, no. 11, pp. 4–11. In Rus. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-11-4-11.
- Korchina T.Ya. Correlation communications between concentration of chemical elements in hair of natives of the Tyumen North and their content in natural waters of the region. *Bulletin of restorative medicine*, 2008, vol. 5a, no. 28, pp. 38–42.

27. Kehagia K., Bratakos S., Kolovou M., Potiriadis C. Hair analysis as an indicator of exposure to uranium. *Radiation Protection Dosimetry*, 2010, vol. 144, no. 1–4, pp. 423–426. DOI: 10.1093/rpd/ncq324
28. Kist A.A., Radyuk R.I., Zhuk L.I., Pikul V.P., Belyaev A.D. Human hair radioactivity in the Chernobyl area. *J. Alloys Compd.*, 1994, vol. 213/214, pp. 81–85.
29. Mohagheghi A.H., Shanks S.T., Zigmund J.A., Simmons G.L., Ward S.L.A. A survey of uranium and thorium background levels in water, urine, and hair and determination of uranium enrichments by ICP-MS. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2005, vol. 263, no. 1, pp. 189–195.
30. Farkhutdinov I.M., Khayrullin R.R., Soktoev B.R., Zlobina A.N., Chesalova E.I., Farkhutdinov A.M., Tkachev A.V. Uranium in man-made carbonates on the territory of Ufa. *Journal of Mining Institute*, 2023, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.4> (accessed 15 June 2023).
31. Mongolina T., Baranovskaya N., Soktoev B. Elemental composition of salt deposits of drinking waters of the Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 204–211.
32. Yazikov E.G., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V. The indicator role of salt deposits in water during geochemical monitoring. *Izvestiya vuzov*, 2004, no. 1, pp. 67–69. In Rus.
33. Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Soktoev B.R., Mongolina T.A. Evaluation of drinking water according to geochemical composition of its salt deposition. *Proceedings of 8th International Conference «Environmental Engineering»*. Vilnius, Lithuania, May 19–20, 2011, pp. 337–342
34. Fassel V., Guinn V., Haas W., Hambidge K., Hamilton E., Hoste J. *Element analysis of biological materials. Current problems and techniques with special reference to trace elements. Ap. II. Technical reports series*. Vienna, IAEA, 1980, no. 197, pp. 351–367.
35. Sudyko A.F. Opređenje urana, toriya, skandiya i nekotorykh redkozemelnykh elementov v dvadtsati chetyrekh standartnykh obraztsakh sravneniya instrumentalnym neytronno-aktivatsionnym metodom [Determination of uranium, thorium, scandium and some rare earth elements in twenty-four standard comparison samples by instrumental neutron activation method]. *Radioaktivnost i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka. Materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii* [Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Proc. of the V International Conference]. Tomsk, STT Publ., 2016, pp. 620–624.
36. Soktoev B.R., Rikhvanov L.P., Arynova Sh.Zh. Estestvennye radioaktivnye elementy (Th, U) v soleykhn otlozheniyakh prirodnykh presnykh vod [Natural radioactive elements (Th, U) in salt deposits of natural fresh water]. *Radioaktivnost i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka. Materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii* [Radioactivity and radioactive elements in the human environment. Proc. of the V International Conference]. Tomsk, STT Publ., 2016, pp. 599–603.
37. Narkovich D.V. *Elementnyy sostav volos detey kak indikator prirodno-tekhnogennoy obstanovki territorii (na primere Tomskoy oblasti)*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [The elemental composition of children's hair as an indicator of the natural and man-made situation of the territory (on the example of the Tomsk region). Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2012. 24 p.
38. Rodushkin I., Axelsson M.D. Application of double focusing sector field ICP-MS for multielement characterisation of human hair and nails. P. II A study of the inhabitants of northern Sweden. *Sci. Tot. Environment*, 2000, no. 262, pp. 21–36. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00531-3.
39. Akamine A.U., Duchon Silva M.A., Saiki M., Vasconcellos M.B.A., De Andrade S.L., Fulfaro R. Determination of Uranium in human head hair of a Brazilian population group by epithermal neutron activation analysis. *J Radioanal Nucl. Chem.*, 2007, vol. 271, pp. 607–609. DOI: 607-609. 10.1007/s10967-007-0315-x.
40. Byrne A.R., Benedick L. Uranium content of blood, urine and hair of exposed and non exposed persons determined by radiochemical neutron activation analysis with emphasis on quality control. *Sci Total Environ.*, 1991, no. 107, pp. 143–157.
41. Imahori A., Fukushima I., Shiobara S., Yanagida Y., Tomura K. Multielement neutron activation analysis or human scalp hair. A local population survey in the Tokyo metropolitan area. *J Radioanal Chem.*, 1997, vol. 52 (1), pp. 167–180. DOI: 10.1007/BF02517711.
42. Gonnen R., Kol R., Laichter Y., Halicz L., Lorber A., Karpas Z. Determination of Uranium in human hair by acid digestion and FIAS-ICPMS. *J Radioanalytical Nucl. Chem.*, 2000, vol. 243, no. 2, pp. 559–562. DOI: 10.1023/A:1016031726512.
43. Alaani S., Tafash M., Busby C., Hamdan M., Blaurock-Busch E. Uranium and other contaminants in hair from the parents of children with congenital anomalies in Fallujah, Iraq. *Confl Health.*, 2011, v. 5, no. 15. Available at: <https://doi.org/10.1186/1752-1505-5-15> (accessed 15 June 2023).
44. Muikku M., Puhakainen M., Heikinen T., Ilus T. The mean concentration of Uranium in drinking water, urine and hair of the occupationally unexposed Finnish working population. *Health Phys.*, 2009, vol. 96, no. 6, pp. 646–654. DOI: 10.1097/01.HP.0000345026.98668.c4.
45. Winde F., Geipel G., Espina C., Schu'z J. Human exposure to uranium in South African gold mining areas using barber-based hair sampling. *PLoS ONE*, 2019, vol. 14, no. 6, e0219059. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219059> (accessed 15 June 2023).
46. Stanco V.V., Chernenko M.B. *Populyarnaya biblioteka khimicheskikh elementov* [Popular library of chemical elements]. Moscow, Nauka Publ., 1983. Vol. 1, 574 p.
47. Volkov A.V., Novikov I.A., Razumovsky A.A., Murashov K.Yu., Sidorova N.V. Geochemical features and conditions of formation of copper sandstones of the Orenburg Urals. *Lithosphere*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 593–606. In Rus.
48. Kontar E.S. *Geologo-promyshlennyye tipy mestorozhdeniy medi, tsinka, svintsa na Urale (geologicheskie usloviya razmeshcheniya, istoriya formirovaniya, perspektivy)* [Geological and industrial types of copper, zinc, and lead deposits in the Urals (geological conditions of location, history of formation, prospects)]. Ekaterinburg, UGGU Publ., 2013. 199 p.
49. Dahlkamp F.J. *Geology of uranium deposits*. Berlin, Springer, 1993. 460 p.
50. Kamaletdinov M.A. To the 65th anniversary of the discovery of Devonian oil of the Volga-Urals. *Georesources*, 2009, no. 1, pp. 46–48. In Rus.
51. Sobolev I.S. Methods of radiogeochemistry in the ground search for oil and gas deposits. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2007, vol. 311, no. 1, pp. 90–96. In Rus.
52. Reddy A.S., Rao N.V. Radiation anomaly correlation helpful in KrishnaGodavari basin. *Oil and Gas Journal*, 2002, April 15, pp. 38–42.
53. Al-Masri M.S., Aba A. Distribution of scale containing NORM in different oilfields equipment. *Appl. Radiat. Isotopes*, 2005, vol. 63, pp. 457–463.
54. Khalid Al Nabhani, Faisal Khan, Ming Yang. Technologically enhanced naturally occurring radioactive materials in oil and gas production: a silent killer. *Process Safety and Environmental Protection*, 2016, vol. 99, pp. 237–247. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.09.014> (accessed 15 June 2023).
55. Kamaletdinov M.A. Pokrovnyye struktury Urala [Overlapped structure of the Urals]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 230 p.
56. *Geologicheskaya karta Bashkortostana (masshtab 1:600000)* [Geological map of Bashkortostan (scale 1:600000)]. Ed. by M.A. Kamaletdinov. Moscow, Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR Publ., 1980. 50 p.
57. Grigoriev N.A. *Raspredelenie khimicheskikh elementov v verkhney chasti kontinentalnoy kory* [Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009. 383 p.
58. Nakaona L., Maseka K.K., Hamilton E.M., Watts M.J. Using human hair and nails as biomarkers to assess exposure of potentially harmful elements to populations living near mine waste dumps. *Environ Geochem Health*, 2020, no. 42, pp. 1197–1209. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00376-6> (accessed 15 June 2023).
59. Ali M.U., Wang Ch., Li Y., Li R., Yang Sh., Ding L., Feng L., Wang B., Li P., Wong M.H. Heavy metals in fish, rice, and human hair and health risk assessment in Wuhan city, central China. *Environmental Pollution*, 2023, vol. 328, no. 12160. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121604> (accessed 15 June 2023).

60. Dorokhova L.A., Yusupov D.V., Toropov A.S., Raputa V.F., Pavlova L.M., Radomskaya V.I., Sudyko A.F., Baranovskaya N.V. Analysis of uranium distribution in aerosol precipitation on the territory of Novosibirsk. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic*

University. Geo Assets Engineering, 2023, vol. 334, no. 1, pp. 7–18. In Rus.

Received: 24 June 2023.

Reviewed: 17 July 2023.

Information about the authors

Anastasia N. Zlobina, Cand. Sc., senior teacher, Ufa University of Science and Technology

Leila M. Farkhutdinova, Dr. Sc., professor, Bashkir State Medical University.

Iskhak M. Farkhutdinov, Cand. Sc., chief manager, OOO RN-BashNIPIneft; academic secretary, Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences.

Alexandra I. Belyanovskaya, Cand. Sc., senior researcher, Tyumen State University.

Natalia V. Baranovskaya, Dr. Sc., professor, Tomsk Polytechnic University.

Elena I. Chesalova, researcher, Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences.

Anvar M. Farkhutdinov, Cand. Sc., researcher, CY Cergy Paris University.

Larisa A. Khayrulina, senior teacher, Ufa University of Science and Technology.

Elizaveta V. Krestyannikova, laboratory researcher, Tyumen State University; junior researcher, Tyumen State Medical University; senior teacher, Tyumen Industrial University.