ISSN 2411-3336; e-ISSN 2541-9404

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА
Journal of Mining Institute
Сайт журнала: pmi.spmi.ru



Научная статья

Уран в антропогенных карбонатах на территории Уфы

И.М.ФАРХУТДИНОВ[1,2], **Р.Р.ХАЙРУЛЛИН**[3]✉, **Б.Р.СОКТОЕВ**[4], **А.Н.ЗЛОБИНА**[5], **Е.И.ЧЕСАЛОВА**[1], **А.М.ФАРХУТДИНОВ**[6], **А.В.ТКАЧЕВ**[1]

[1] *Государственный геологический музей им. В.И.Вернадского РАН, Москва, Россия*
[2] *ООО «РН-БашНИПИнефть», Уфа, Республика Башкортостан, Россия*
[3] *Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, Уфа, Республика Башкортостан, Россия*
[4] *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*
[5] *Башкирский государственный университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия*
[6] *Университет Сержи-Париж, Сержи, Франция*

***Как цитировать эту статью*:** Фархутдинов И.М., Хайруллин Р.Р., Соктоев Б.Р., Злобина А.Н., Чесалова Е.И., Фархутдинов А.М., Ткачев А.В. Уран в антропогенных карбонатах на территории Уфы // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 226-237. DOI: 10.31897/PMI.2023.4

Аннотация. Описаны результаты анализа содержания урана в антропогенных карбонатах (накипи) на территории Уфы по данным изучения 42 проб. Медианное содержание урана в изученных образцах составляет 1,44 мг/кг, что существенно ниже фоновых показателей (накипь из воды оз. Байкал, кларк осадочных карбонатных пород) и данных по другим населенным пунктам Республики Башкортостан. Пониженные значения урана вероятно связаны с влиянием трех ведущих факторов: особенностей геологического строения территории (гипсы, известняки); типов водоснабжения; процессов водоподготовки при централизованном типе водоснабжения. Для пространственного распределения урана в антропогенных карбонатах характерен однородный тип, который нарушается в двух случаях: смена типа водоснабжения (централизованное на индивидуальное); материал посуды, в которой кипятится вода. При сравнительном анализе проб антропогенных карбонатов, связанных с различными источниками водоснабжения (ковшовый и инфильтрационный водозаборы) и типами домашних фильтров, значимых различий не выявлено.

***Ключевые слова*:** антропогенные карбонаты; накипь; питьевые воды; геохимия; экологическая геохимия; медицинская геология; Республика Башкортостан; Южный Урал; Восточно-Европейская платформа; уран

Благодарность. Анализ содержания урана в антропогенных карбонатах выполнен в рамках программы развития ТПУ. Обработка данных выполнена в рамках реализации гранта Российского научного фонда (проект № 22-27-00748).

Поступила: 15.04.2022 ***Принята: 17.11.2022*** ***Онлайн: 26.01.2023*** ***Опубликована: 25.04.2023***

Введение. Вода – один из основных источников поступления химических элементов в организм человека [1, 2]. Как избыток, так и недостаток элементов может отрицательно сказываться на здоровье, провоцируя ряд возможных заболеваний [3-5].

Опасность урана обусловлена совокупностью воздействий [6]: токсическим, радиационным и канцерогенным [7-9]. При этом он не имеет известных биологических функций [6, 10, 11]. Также преимущественно негативным воздействием характеризуются дочерние продукты распада урана, из которых наиболее известен радон – радиоактивный газ [12-14]. Исследованиями доказано, что радон может вызывать рак легких, лейкемию и другие онкологические патологии [15-17].

Поступая в организм человека с водой в низких концентрациях, уран не наносит существенного вреда как радионуклид, но может при этом влиять как токсический химический элемент [18]. Ряд исследований показывает, что повышенное фоновое содержание урана в питьевой воде вызывает рак почек, почечную недостаточность и другие заболевания [6, 19, 20]. Поэтому геохимическое изучение питьевых вод на присутствие в них повышенных концентраций химических элементов, в том числе урана, является важным направлением геоэкологии, медицинской геологии и токсикологии [6, 21, 22]. Выявление таких аномалий на уровне регионального и локального масштабов

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

может серьезно способствовать профилактике хронических заболеваний, обусловленных влиянием факторов окружающей среды как естественного, так и антропогенного происхождения.

Проведенные исследования на территории нескольких регионов России (Иркутская, Томская, Челябинская области, Республики Алтай и Бурятия) и Казахстана (Павлодарская обл.) показали, что одним из косвенных индикаторов качества вод, используемых для питьевого водоснабжения, являются антропогенные карбонаты (накипь), формируемые при кипячении в бытовых условиях [23-26]. Иследования показывают, что в вещественном отношении накипь, формируемая в бытовых условиях при кипячении воды, состоит преимущественно из различных модификаций карбоната кальция. Это подтверждается результатами порошковой рентгеновской дифрактометрии и сканирующей электронной микроскопии, согласно которым основными минеральными фазами в составе накипи являются кальцит или арагонит [24, 25], а содержание других минеральных фаз достигает первых процентов. Это обусловлено тем, что для целей питьевого водоснабжения в основном используются гидрокарбонатные кальциевые и магниево-кальциевые воды.

В природных условиях геохимия урана достаточно разнообразна [27] и зависит от ряда физико-химических параметров: pH, Eh, наличие комплексообразователей (карбонаты, фосфаты, сульфаты и др.) [28-30]. В окислительных условиях уран чаще всего встречается в шестивалентной форме (U^{6+}) в виде уранил-иона (UO_2^{2+}), который образует более стабильные комплексы и более мобилен в природных водах [30]. В присутствии карбонат-иона уранил-ион легко связывается с ним, формируя соединения $(UO_2)(CO_3)^0$, $(UO_2)(CO_3)_2^{2-}$, $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ [31-33], и выпадает в осадок с основными карбонатными минералами (кальцит, арагонит, доломит) [34-36]. Осаждение урана из растворов обычно связано с более высокой скоростью испарения или локальным перенасыщением [33, 37], что наблюдается в случае кипячения питьевой воды (сочетание термодинамического и испарительного геохимических барьеров).

При этом исследования параллельных проб воды и антропогенных карбонатов на территории Томской и Павлодарской областей, а также в Байкальском регионе показывают, что между содержанием урана в воде и антропогенных карбонатах существует положительная корреляционная связь (показатель линейной корреляции варьирует от 0,62 до 0,96).

Целью данного исследования является анализ содержания урана в антропогенных карбонатах (накипи питьевых вод) на территории Уфы. Данная работа является логическим продолжением работ по оценке геоэкологической обстановки в Республике Башкортостан с позиций медицинской геологии [38].

В геологическом отношении Уфа расположена в пределах восточной окраины Восточно-Европейской платформы (Русской плиты) (рис.1). Большая часть территории города расположена на плоском платообразном возвышении рельефа с крутыми склонами, ограниченном с запада, юга и востока долинами рек Уфы и Белой (Уфимский полуостров). На данной территории архейский кристаллический фундамент перекрыт мощной (около 8 км) толщей осадочных пород. В пределах границ города закартированы пермские, неогеновые и четвертичные отложения [39].

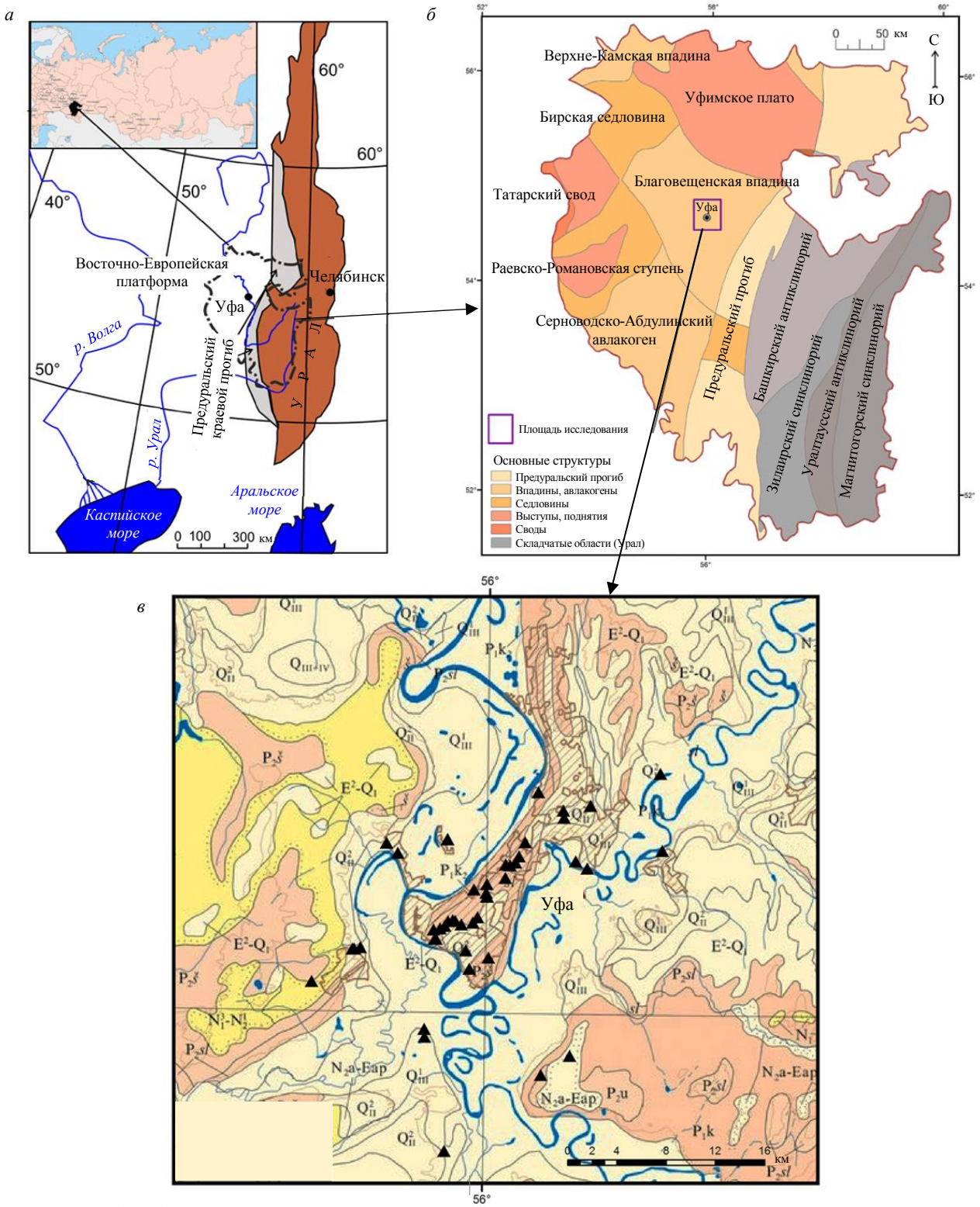
Пермская система на территории Уфы представлена кунгурским и уфимским ярусами нижнего отдела. К кунгурскому ярусу отнесены светло-серые гипсы и ангидриты с прослоями загипсованных глин и доломитов, картируемых в основании крутых берегов рек. Мощность отложений яруса до 340 м. Уфимский ярус представлен частым переслаиванием известняков, глинистых доломитов, мергелей, глин, алевролитов и песчаников общей мощностью 15-25 м, а местами до 60 м.

Неогеновые отложения представлены кинельской свитой (в долинах рек Белой и Уфы), а также нерасчлененными акчагыльским и апшеронским ярусами (на Бельско-Уфимском междуречье). К кинельской свите отнесены плотные серые глины, пески и галечники общей мощностью до 70-100 м. Акчагыльский и апшеронский ярусы сложены красновато-коричневыми, серовато-коричневыми плотными глинами с прослоями песков (в нижней части) общей мощностью 50 м [39].

Четвертичные отложения в долинах рек Белой и Уфы сложены аллювиальными галечниками и песками мощностью 10-15 м, перекрыты сверху перигляциальными глинистыми осадками (супеси, суглинки, глины) мощностью от 1-3 до 15-20 м, а на Бельско-Уфимском междуречье представлены элювиально-делювиальными осадками (глины, суглинки) мощностью от 0,5-2 до 10-15 м [39].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 226-237 DOI: 10.31897/PMI.2023.4
© И.М.Фархутдинов, Р.Р.Хайруллин, Б.Р.Соктоев, А.Н.Злобина, Е.И.Чесалова, А.М.Фархутдинов, А.В.Ткачев, 2023



Q — Четвертичная система. Голоцен: Q_{IV}, Q_{III-IV} – верхняя часть верхнего звена; Q^1_{III} – нижняя часть верхнего звена; Q^2_{II} – среднее звено; E^2-Q_I – верхний эоплейстоцен – нижнее звено неоплейстоцена

N^2_2a-Eap — Верхний голоцен, акчагыльский ярус, эоплейстоцен, апшеронский ярус

N^3_1-N^1_2 — Неогеновая система: N_1-N_2 – верхний миоцен – нижний плиоцен

P_1u — Пермская система. Уфимский ярус. Верхний подъярус: P_2s – Шешминская свита; P_2sl – Соликамская свита

P_1k — Кунгуский ярус, верхний подъярус

▲ — Точки отбора проб

Рис.1. Геологическое строение территории исследования: *а* – расположение территории исследования; *б* – тектоническое районирование Республики Башкортостан (Государственная геологическая карта, Лист N40(41), масштаб 1:1000000 (2001); *в* – фрагмент геологической карты Республики Башкортостан с указанием точек отбора проб, масштаб 1:500000 (2011)

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Основу питьевого водоснабжения города составляют воды р. Уфа, а также грунтовые воды, развитые как в долинах рек (Белая, Уфа, Шугуровка), так и на междуречном пространстве. Согласно исследованиям имеются заметные различия в составе грунтовых вод в южной и северной частях города. Химический состав грунтовых вод южной (селитебной) части города преимущественно гидрокарбонатный, сульфатно-гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-хлоридный магниево-кальциевый, магниево-кальциево-натриевый. Минерализация воды 0,66-1,29 г/л, pH 7,2-7,62. Содержание микроэлементов ниже предельно допустимой концентрации, при этом основным показателем загрязнения подземных вод в данной части города являются азотные соединения: концентрация нитрат-иона в колодцах частных домов достигает 1100-1530 мг/дм^3. В ряде районов отмечено превышение по Cr, Hg, нефтепродуктам, фенолам и другим химическим элементам и органическим соединениям [40].

В северной (промышленной) части города грунтовые воды сульфатно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридно-гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-натриевые, натриево-кальциевые, натриево-магниево-кальциевые, аммонийно-натриевые. Отмечается смена типа вод с сульфатно-натриевого до хлормагниевого и хлоркальциевого при росте минерализации до 6-11,5 г/дм^3 [40]. Показатели радиационной безопасности соответствуют нормативам: общая α-радиоактивность – менее 0,02 Бк/л при нормативе в 0,2 Бк/л, общая β-радиоактивность – менее 0,1 Бк/л при нормативе 1,0 Бк/л [41].

Поставщиком воды до домохозяйств Уфы является ГУП РБ «Уфаводоканал». Территория города обеспечена централизованными коммуникациями водопровода и канализации, на которой базируется семь крупных водозаборов: открытый речной водозабор (Северный ковшовый) и шесть водозаборов инфильтрационного типа общей мощностью 613 тыс. м^3/сут. [41]. Питьевая вода, подаваемая населению, соответствует требованиям государственных стандартов [42].

Методы. *Отбор проб.* На территории города проанализированы данные по содержанию урана в 42 пробах солевых отложений питьевых вод, из которых 36 отобраны в домохозяйствах, использующих централизованное водоснабжение, 6 – из колодцев и скважин. Для сравнительного анализа использовались данные по содержанию урана в пробах антропогенных карбонатов на территории Уфимского района (28 проб из 18 населенных пунктов). Выборочно привлечены данные по другим населенным пунктам Республики Башкортостан, преимущественно городам [43, 44]. Пробы отбирались в соответствии с имеющимися рекомендациями [45]. Отбор проводился из различной посуды (эмалированные и электрические чайники, кастрюли, самовары), которая используется для кипячения воды как из централизованных, так и индивидуальных (скважины, колодцы) источников водоснабжения. При отборе проб также учитывались время образования накипи (когда в последний раз очищалась посуда от накипи перед отбором), глубина источника водоснабжения, использование фильтра.

Проведенные исследования на различных территориях [23-25] показывали эффективность применения накипи как косвенного индикатора качества питьевых вод. При корректном отборе проб минимизируется влияние таких факторов, как тип посуды, время образования накипи. Ведущими факторами в этом случае являются тип и источник водоснабжения, а также использование фильтра.

Аналитические методы. Анализ содержания урана в антропогенных карбонатах проводился методом инструментального нейтронно-активационного анализа в ядерно-геохимической лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ (аттестат аккредитации № RA.RU.21АБ27 от 08.04.2015, аналитики А.Ф.Судыко, Л.Ф.Богутская).

Для анализа вещественного состава антропогенных карбонатов использовался метод порошковой рентгеновской дифрактометрии. Рентгенофазовый анализ случайно выбранных семи образцов накипи проводился на рентгеновском дифрактометре Bruker D2 Phaser с реализацией съемки рентгенограмм в геометрии Брэгга – Брентано. Параметры съемки: анод – Cu (медь), напряжение рентгеновской трубки – 30 кВ, ток – 10 мА, углы съемки 2Θ – от 10 до 70°, шаг съемки – 0,02°, выдержка – 1 с в точке, вращение – 20 об/мин. Для расшифровки полученных дифрактограмм

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© И.М.Фархутдинов, Р.Р.Хайруллин, Б.Р.Соктоев, А.Н.Злобина, Е.И.Чесалова, А.М.Фархутдинов, А.В.Ткачев, 2023

применялись программные пакеты DIFFRAC.Eva и TOPAS на основе баз данных рентгеновской порошковой дифрактометрии PDF-2 Международного центра дифракционных данных (ICDD, Denver, USA).

Данные обрабатывались с помощью программных пакетов Statistica 8.0 и Microsoft Excel 2016. Статистическая обработка данных включала расчет следующих показателей: среднего арифметического значения, стандартной ошибки, среднего геометрического значения, медианы, мода, минимального и максимальных значений, стандартного отклонения, коэффициента вариации, асимметрии, эксцесса и их стандартных ошибок. При обработке данных значения ниже предела обнаружения (0,1 мг/кг) заменялись на половину значения (0,05 мг/кг). Ввиду того, что характер распределения урана в изучаемой выборке не соответствует нормальному по данным различных тестов (Колмогорова – Смирнова, Лиллиефорса, Хи-квадрат), в качестве среднего значения взята медиана, при расчете которой из общей выборки убирались «ураганные пробы», но в обсуждении полученных результатов они показаны. Геохимическая специализация антропогенных карбонатов и характер накопления урана в них определялись сравнением с фоновыми показателями: кларк осадочных карбонатных пород – 2,2 мг/кг [46], накипь из воды оз. Байкал, полученной авторами, – 4,51 мг/кг [47].

Карты пространственного распределения естественных радиоактивных элементов построены с помощью программы ArcGIS 10.3 в модуле Spatial Analyst методом обратно взвешенных расстояний. Выбор метода интерполяции исходил из относительно небольшого количества точек исследования и неравномерности их пространственного распределения. Значения аппроксимировались как средневзвешенные в пределах определенного расстояния. Ближайшие объекты имеют больший вес, а отдаленные – относительно низкое влияние на расчеты (веса обратно пропорциональны степени расстояний).

Обсуждение результатов. *Вещественный состав антропогенных карбонатов.* Проведенные дифрактометрические исследования семи случайно выбранных образцов накипи показывают, что все образцы представлены модификациями карбонатов кальция: в четырех пробах преобладающим минералом является кальцит – тригональная модификация, в оставшихся трех основным минералом является арагонит – ромбическая модификация. Эти данные хорошо согласуются с ранее проведенными исследованиями антропогенных карбонатов на других территориях (Томская, Иркутская, Павлодарская области, Республика Бурятия) [23-25].

По данным анализа 42 проб антропогенных карбонатов, отобранных на территории Уфы, медианное содержание урана составило 1,44 мг/кг при разбросе от 0,05 (половина предела обнаружения методом инструментального нейтронно-активационного анализа) до 28,9 мг/кг. Нужно отметить сравнительно однородное распределение содержания урана в изученной выборке, так как значения среднего арифметического (1,82 мг/кг), среднего геометрического (1,3 мг/кг) и медианного содержания достаточно близки. При этом коэффициент вариации для данной выборки (N = 42) составляет 82 %. Медианное содержание существенно ниже, чем в фоновых показателях, которые используются для сравнительного анализа при изучении антропогенных карбонатов: накипи из воды оз. Байкал (4,51 мг/кг) [47] и осадочных карбонатных пород (2,2 мг/кг) [46]. Медианное содержание урана в антропогенных карбонатах на территории Уфы существенно ниже среднего значения по Республике Башкортостан – 5,4 мг/кг [44], а также на других изученных территориях: Томская (1,9 мг/кг) и Павлодарская области (27,4 мг/кг), Байкальский регион (21,1 мг/кг), Республика Алтай (10,7 мг/кг) [47].

Низкое содержание урана в антропогенных карбонатах может быть связано с особенностями геологического строения территории города: большая часть расположена в районах распространения гипсов и известняков. Ранее выявлена схожая тенденция на территории Уфимского плато, расположенного в северной части республики [43, 44]. Такой фактор (геологическое строение территории) более ярко проявляет себя при сравнении полученных результатов с данными по содержанию урана в антропогенных карбонатах из других крупных населенных пунктов Республики Башкортостан, преимущественно городов (табл.1).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.31897/PMI.2023.4

© И.М.Фархутдинов, Р.Р.Хайруллин, Б.Р.Соктоев, А.Н.Злобина, Е.И.Чесалова, А.М.Фархутдинов, А.В.Ткачев, 2023

Таблица 1

Содержание урана в пробах антропогенных карбонатов из населенных пунктов

Населенный пункт	Число проб	Содержание, мг/кг	Распространенные на поверхности горные породы
Сибай	4	6,21	D_2kr_2 – карамалыташская свита. Верхняя подсвита. Дациты, риодациты, базальты, их лавобрекчии, гиалокластиты и туфы, андезибазальты, кремнистые туффиты, криолиты, яшмы (более 750 м); D_3-C_1zl – зилаирская свита. Песчаники, алевропесчаники, алевролиты, часто известковые, кремнисто-глинистые и углисто-глинистые сланцы, редко гравелиты, кремнистые туффиты, известняки, в основании горизонты олистостром (до 2700 м); aQ_{II} – аллювиальные отложения. Гравийники, пески, галечники, супеси, суглинки (до 10 м); aQ_{III} – аллювиальные отложения. Пески, глины, алевриты, суглинки, галечники (до 12 м)
Стерлитамак	4	6,88	N_2^3ak+ap – акчагыльский и апшеронский ярусы. Глины, алевриты, пески, галечники; Q^1_{III} – глины, суглинки, пески, галечники; $Q^2_{III}+Q_{IV}$ – верхнечетвертичные, верхняя часть и современные отложения. Почвы, торфы, суглинки, пески, галечники
Октябрьский	14	8,5	$P_1šš$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Шешминская свита – песчаники, алевролиты, конгломераты, мергели, известняки, доломиты, гипсы; P_2kz_1 – казанский ярус. Верхний подъярус – глины, мергели, известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, конгломераты, гипсы, ангидриты; P_2ur – татарский ярус. Нижний подъярус. Уржумский горизонт. Уржумская серия – глины, известняки, доломиты, мергели, алевролиты, песчаники
Кумертау	12	9,3	T_1 – конгломераты, песчаники с прослоями глин и алевролитов; T_3sr – суркайская свита. Глины с прослоями алевролитов и песчаников; $N^3_2 + Q_1s$ – общесыртовая свита. Глины, суглинки с линзами песков и галечников
Акъяр	9	10,2	$J_{1-2}bm$ – баймакская толща. Слюдистые и углистые глины, алевролиты, пески глинистые и слюдистые, редкие прослои бурых углей, линзы сидеритов; внизу – песчано-гравийные галечники, углистые глины с прослоями углей, прослои бурожелезняковых руд (30-270 м); aQ_H^1 – нижняя часть голоцена. Аллювиальные отложения высокой поймы. Супеси, суглинки, пески, гравий, галечники (до 24 м)
Туймазы	7	11,9	$P_1šš$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Шешминская свита – песчаники, алевролиты, конгломераты, мергели, известняки, доломиты, гипсы; P_2kz_1 – казанский ярус. Нижний подъярус – глины, мергели, известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, конгломераты, гипсы, ангидриты; P_2kz_2 – казанский ярус. Верхний подъярус – глины, мергели, известняки, доломиты, алевролиты, песчаники, конгломераты, каменная соль, гипсы, ангидриты
Давлеканово	4	17,5	$P_1šš^1$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Нижняя толща. Конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты (камышенские слои); $P_1šš^2$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Средняя толща. Аргиллиты, алевролиты, доломиты, известняки, песчаники (бураевские слои); N_2kn – кинельская свита. Глины, пески, галечники; $N_2^3ak_2$ + ap – акчагыльский средний подъярус и апшеронский ярусы. Глины, суглинки, пески, галечники
Ахуново	2	22,7	$\gamma\delta Pz_3$ – гранодиориты и плагиограниты
Чекмагуш	10	27,8	$P_1šš^2$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Средняя толща. Конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, мергели, известняки (бураевские слои); $P_1šš^3$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Верхняя толща. Конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты с линзами гипсов, доломиты, известняки (чекмагушевские слои)

Полученные данные позволяют сделать вывод, что ведущая роль в вариациях содержания урана в антропогенных карбонатах отводится особенностям геологического строения территории. Так, в населенных пунктах Давлеканово и Чекмагуш концентрация урана составила 17,5 и 27,8 мг/кг соответственно, что может быть связано с поступлением урана из нижнепермских красноцветных песчаников, неглубоко залегающего кристаллического фундамента, а также распространенностью нефтяных месторождений в данных районах, способствующей миграции урана вместе с нефтью с глубины. Также повышенное содержание урана в накипи установлено в пробах из д. Ахуново (22,7 мг/кг), расположенной на Ахуновском гранитном массиве [43, 44].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 226-237 DOI: 10.31897/PMI.2023.4
© И.М.Фархутдинов, Р.Р.Хайруллин, Б.Р.Соктоев, А.Н.Злобина, Е.И.Чесалова, А.М.Фархутдинов, А.В.Ткачев, 2023

При сравнительном анализе данных по содержанию урана в пробах из Уфы и населенных пунктов Уфимского района следует отметить более высокое медианное содержание урана в образцах, отобранных на территории района. В пределах Уфимского района отобраны пробы антропогенных карбонатов в 18 населенных пунктах. Содержание урана варьирует в пределах от 1,2 (Мокроусово) до 14,5 мг/кг (Нагаево, Николаевка). Медианное содержание для проб из населенных пунктов Уфимского района составило 4,9 мг/кг, что более чем в три раза выше медианной концентрации для образцов из Уфы.

Одним из вероятных факторов большого различия является тип водоснабжения: подавляющая часть проб накипи из Уфы отобрана в домохозяйствах с централизованным водоснабжением, в то время как в населенных пунктах Уфимского района пробы большей частью отобраны в домохозяйствах с индивидуальным водоснабжением (скважины, колодцы, родники и т.д.). Фактор централизованного водоснабжения значительно влияет при использовании различных систем водоочистки. Так, ГУП РБ «Уфаводоканал» применяет на Северном водозаборе сорбционную обработку воды порошкообразным активированным углем, камерные фильтр-прессы циклического действия, скорые фильтры с горелой породой в качестве местного фильтрующего материала [41].

По результатам определения содержания урана в пробах, отобранных на территории Уфы, оценено его пространственное распределение. Анализ схемы (рис.2) показывает, что отмечается однородное распределение урана в антропогенных карбонатах. Отклонения зафиксированы в отдельных точках (южная часть города, левобережье, пригород), где концентрации достигают 29 мг/кг. Данные отклонения, возможно, связаны с двумя факторами: материал посуды, в которой кипятилась вода (рис.2, точка 1); индивидуальное водоснабжение (колодец) (рис.2, точка 2). Вероятное влияние материала посуды обусловлено следующим фактом: в пределах одного домохозяйства, кроме данной пробы (посуда – цельнометаллический чайник), отобрано еще три пробы из трех других чайников, содержание урана в которых составило 0,99; 1,25; 1,31 мг/кг.

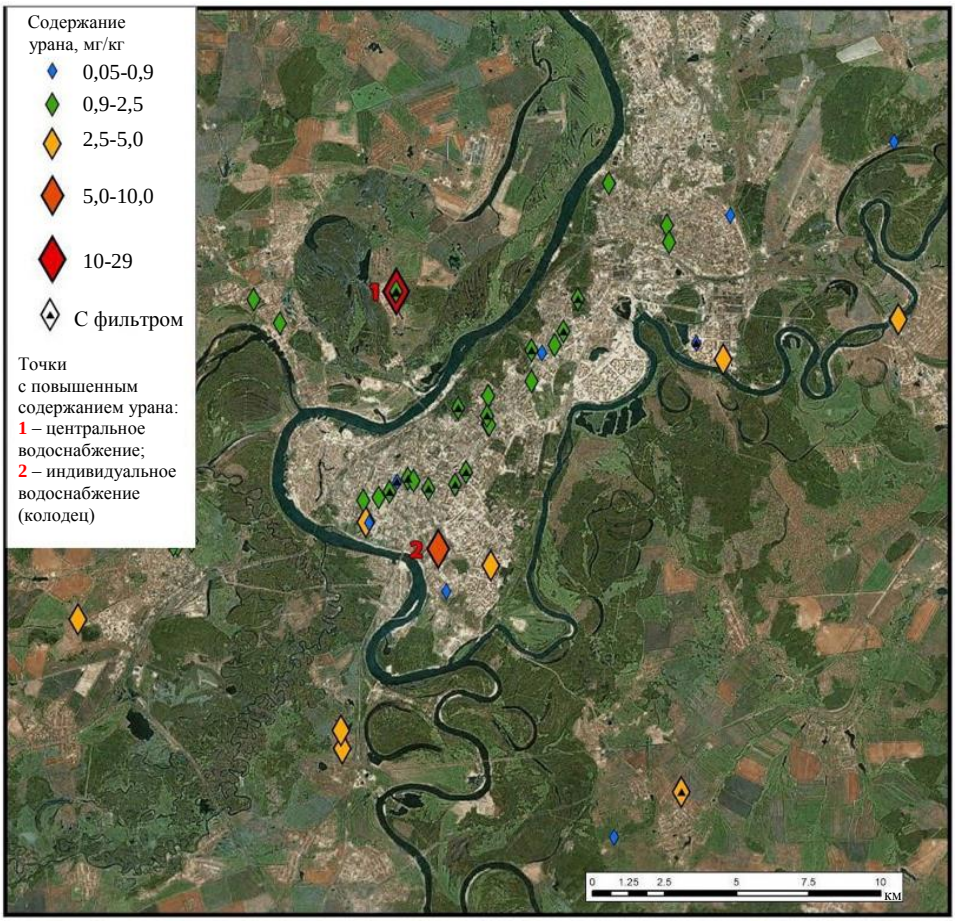


Рис.2. Пространственное распределение содержания урана в пробах антропогенных карбонатов на территории Уфы

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.31897/PMI.2023.4

Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 226-237
© И.М.Фархутдинов, Р.Р.Хайруллин, Б.Р.Соктоев, А.Н.Злобина, Е.И.Чесалова, А.М.Фархутдинов, А.В.Ткачев, 2023

Для сравнения взяты данные по 18 населенным пунктам пригородного Уфимского района (табл.2). В его пределах преимущественно развито индивидуальное водоснабжение (колодцы, скважины, родники и т.д.). Анализ пространственного распределения урана в пробах антропогенных карбонатов на территории Уфимского района показывает его неоднородный характер (рис.3). Ореолы повышенных содержаний данного химического элемента приурочены к западной и юго-западной частям района (Булгаково, Дмитриевка, Мармылево, Николаевка, Таптыково, Нагаево, Юматово), где среднее содержание урана превышает 10 мг/кг (табл.2).

Пространственно ореолы повышенного содержания урана в антропогенных карбонатах на территории Уфимского района приурочены к областям распространения суглинистых и глинистых отложений (верхний плиоцен, плейстоцен, голоцен). Значимое влияние геологического строения территории обусловлено тем, что подавляющая часть проб антропогенных карбонатов отобрана в домохозяйствах с индивидуальным водоснабжением, для которых не характерно наличие водоочистительных систем, кроме фильтров для питьевой воды (например, фильтры-кувшины).

Влияние типа водоснабжения (централизованное/индивидуальное) и процессов фильтрования. Исследования на территории Томской и Павлодарской областей показывают, что существуют значительные различия в накоплении химических элементов в антропогенных карбонатах в зависимости от типа источника водоснабжения: в случае централизованного типа водоснабжения концентрации большинства химических элементов существенно ниже, чем при индивидуальном [23, 24].

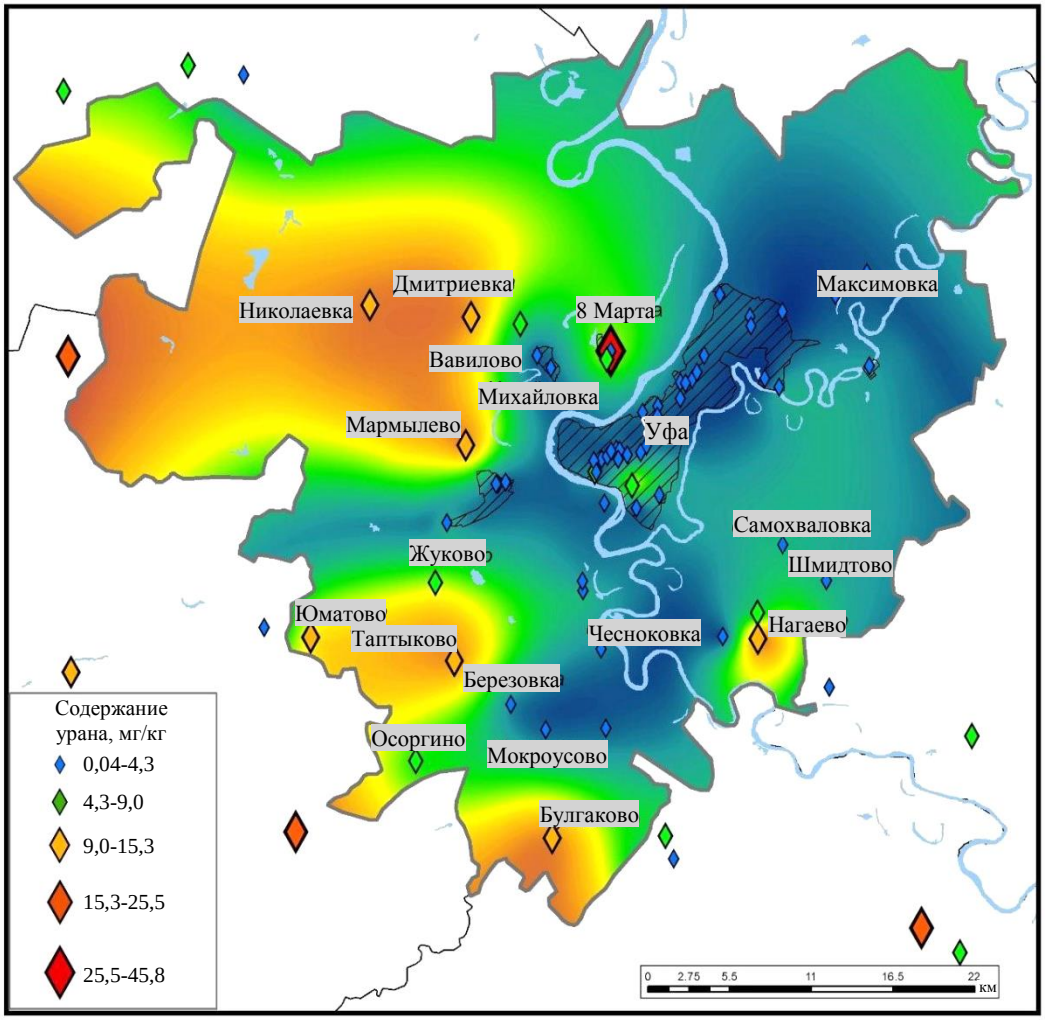


Рис.3. Пространственное распределение содержания урана в пробах антропогенных карбонатов на территории Уфимского района

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 226-237 DOI: 10.31897/PMI.2023.4
© И.М.Фархутдинов, Р.Р.Хайруллин, Б.Р.Соктоев, А.Н.Злобина, Е.И.Чесалова, А.М.Фархутдинов, А.В.Ткачев, 2023

Таблица 2

Содержание урана в антропогенных карбонатах из населенных пунктов Уфимского района

Населенный пункт	Число проб	Содержание, мг/кг	Распространенные на поверхности породы
Максимовка	1	0,87	Q^1_{III} – верхнечетвертичные отложения, нижняя часть. Суглинки, супеси, пески, галечники
Мокроусово	1	1,2	N_2kn – кинельская свита. Глины, пески, галечники
Чесноковка	1	2,2	P_1ir – кунгурский ярус. Иреньский горизонт. Ангидриты, гипсы, доломиты; P_1sk – уфимский ярус. Соликамский горизонт. Аргиллиты, алевролиты загипсованные, известняки, доломиты; $P_1šš^1$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Нижняя толща. Конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты (камышенские слои); N_2kn – кинельская свита. Глины, пески, галечники
Березовка	1	2,3	N_2kn – кинельская свита. Глины, пески, галечники
Михайловка	2	2,9	P_1u – уфимский ярус. Известняки, мергели, глины, алевролиты, песчаники; N_2^3ak – акчагыльский ярус. Глины, алевриты, пески, галечники; Q^1_{III} – верхнечетвертичные отложения, нижняя часть. Суглинки, пески, галечники; Q^2_{II} – среднечетвертичные отложения, верхняя часть. Глины, суглинки, пески, галечники
Самохваловка	1	3,4	Q^1_{III} – верхнечетвертичные отложения, нижняя часть. Суглинки, супеси, пески, галечники; $Q^2_{III} + Q_{IV}$ – верхнечетвертичные, верхняя часть и современные отложения объединенные. Суглинки, пески, иловые глины, торф, галечники
Шмидтово	2	3,97	P_1kg – кунгурский ярус. Нерасчлененные отложения. Гипсы, ангидриты, соли, известняки
Вавилово	1	5,2	N_2^3-Q_1 – верхнеплиоценовые-нижнечетвертичные отложения. Песчанистые глины и суглинки с мергелистыми конкрециями, местами с галечниками в основании
Осоргино	1	6,8	N_2^3akk – акчагыльский ярус. Средний подъярус. Аккулаевский горизонт. Пески, алевриты, глины, галечники
8 марта	4	8,1	Q^1_{III} – верхнечетвертичные отложения, нижняя часть. Суглинки, пески, галечники; Q^2_{III}+Q_{IV} – верхнечетвертичные, верхняя часть и современные отложения. Почвы, торфы, суглинки, пески, галечники
Жуково	4	8,5	$P_1šš^1$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Нижняя толща. Конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты (камышенские слои); P_1sk – уфимский ярус. Соликамский горизонт. Аргиллиты, алевролиты загипсованные, известняки, доломиты; N_2kn – кинельская свита. Глины, пески, галечники
Юматово	1	10,4	$P_1šš^1$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Нижняя толща. Конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты (камышенские слои); $P_1šš^2$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Средняя толща. Аргиллиты, алевролиты, доломиты, известняки, песчаники (бураевские слои)
Таптыково	1	13,4	P_1sk – уфимский ярус. Соликамский горизонт. Аргиллиты, алевролиты загипсованные, известняки, доломиты; $P_1šš^1$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Нижняя толща. Конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты (камышенские слои); $P_1šš^2$ – уфимский ярус. Шешминский горизонт. Средняя толща. Аргиллиты, алевролиты, доломиты, известняки, песчаники (бураевские слои); N_2kn – кинельская свита. Глины, пески, галечники
Дмитриевка	1	13,6	N_2^3-Q_1 – верхнеплиоценовые-нижнечетвертичные отложения. Песчанистые глины и суглинки с мергелистыми конкрециями, местами с галечниками в основании; N_2^3ak – акчагыльский ярус. Глины, алевриты, пески, галечники
Булгаково	1	14,0	N_2kn – кинельская свита. Глины, пески, галечники
Мармылево	1	14,1	P_1u – уфимский ярус. Известняки, мергели, глины, алевролиты, песчаники; N_2^3ak – акчагыльский ярус. Глины, алевриты, пески, галечники
Нагаево	3	14,5	N_2^{2+3} – плиоцен средний и верхний объединенные. Галечники, пески, глины, железистые конгломераты
Николаевка	1	14,5	P_1u – уфимский ярус. Известняки, мергели, глины, алевролиты, песчаники

Для исследования выборка проб антропогенных карбонатов из Уфы разделена на две группы в зависимости от типа водоснабжения. Полученные результаты позволяют утверждать, что централизованное водоснабжение существенно снижает содержание урана в антропогенных карбонатах (4,0 мг/кг – индивидуальное водоснабжение, 1,4 мг/кг – централизованное водоснабжение) (табл.3). Снижение концентрации урана связано с процессами водоочистки, применяемыми в том

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.31897/PMI.2023.4

© И.М.Фархутдинов, Р.Р.Хайруллин, Б.Р.Соктоев, А.Н.Злобина, Е.И.Чесалова, А.М.Фархутдинов, А.В.Ткачев, 2023

числе на ГУП РБ «Уфаводоканал» (сорбционная обработка воды порошкообразным активированным углем, камерные фильтр-прессы, скорые фильтры с горелой породой в качестве фильтрующего материала).

Таблица 3

Содержание урана в антропогенных карбонатах на территории Уфы в зависимости от типа водоснабжения и процессов фильтрования

Тип водоснабжения	Количество проб	Медиана содержания урана, мг/кг
Централизованное водоснабжение:	35	1,4
с фильтром	15	1,34
без фильтра	19	1,43
Индивидуальное водоснабжение	5	4,0

Более широкое внедрение и развитие централизованного типа водоснабжения и, соответственно, методов предварительной водоподготовки (физические, химические, физико-химические) может привести к снижению содержания не только урана, но и других химических элементов. Особенно это актуально для быстро развивающихся урбанизированных территорий, к которым относится и территория Уфы. Данный вопрос приобретает особую важность в случае приуроченности источника водоснабжения к грунтовым водам в четвертичных отложениях, так как они сильнее подвержены процессам техногенного воздействия, в том числе химического, физического и биологического загрязнений. Это несет серьезный риск для здоровья местного населения.

Оценено вероятное влияние исходного водного источника. Известно, что система водоснабжения Уфы базируется на работе восьми водозаборов (подземных и речного). Наиболее крупными из них являются Южный (максимальная производительность 240 тыс. м^3/сут) и Северный ковшовый (200 тыс. м^3/сут). Для оценки возможного влияния исходного источника водоснабжения взято 10 проб: 5 – северная часть города; 5 – южная. Результаты оказались близкими по значению: север – 1,3 мг/кг; юг – 1,1 мг/кг.

В исследовании учтено возможное влияние на содержание урана в антропогенных карбонатах процесса фильтрования в домашних условиях: при отборе проб у владельцев домохозяйств запрашивалась информация об использовании фильтров. Достаточный объем выборки накоплен только для проб из централизованного типа водоснабжения: 15 проб – с предварительным фильтрованием перед кипячением (марки фильтров «Аквафор», «Барьер», «Гейзер»); 19 проб – без предварительного фильтрования. Различия оказались минимальными: 1,34 мг/кг – для проб, сформированных после фильтрования; 1,43 мг/кг – для проб без фильтрования. В исследовании не учитывалось влияние внутреннего материала фильтров, так как в каждом отдельном случае он может быть нацелен на барьерное задержание различных веществ.

Заключение. По результатам исследований сделаны следующие выводы:

• среднее содержание урана в антропогенных карбонатах на территории Уфы составляет 1,44 мг/кг, что в три раза ниже, чем в накипи из воды оз. Байкал – 4,51 мг/кг;

• низкие значения содержания урана в накипи связаны с особенностями геологического строения территории: большая часть города расположена в зоне распространения гипсов и известняков;

• пространственное распределение урана характеризуется как однородное;

• выявлены значимые различия между содержанием урана в пробах накипи при централизованном (1,4 мг/кг) и индивидуальном (4,0 мг/кг) типах водоснабжения;

• значимых различий между содержаниями урана в накипи при сравнении разных источников централизованного водоснабжения (Северный ковшовый и Южный инфильтрационный водозаборы) и использовании домашних фильтров не выявлено.

Выявленный уровень содержания урана в антропогенных карбонатах на территории Уфы можно охарактеризовать неопасным, поскольку другими исследованиями на территории Павлодарской области показано, что предельно допустимой концентрации урана в воде (0,015 мг/л – СанПиН 1.2.3685-21) соответствует его содержание в антропогенных карбонатах (около 30 мг/кг) [24].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© И.М.Фархутдинов, Р.Р.Хайруллин, Б.Р.Соктоев, А.Н.Злобина, Е.И.Чесалова, А.М.Фархутдинов, А.В.Ткачев, 2023

Авторский коллектив благодарен профессору Л.П.Рихванову за поддержку данных исследований, сотрудникам отделения геологии ИШПР ТПУ А.Ф.Судыко и Л.В.Богутской за выполненные аналитические исследования, а также жителям Республики Башкортостан, принявшим участие в исследовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барановская Н.В., Рихванов Л.П., Игнатова Т.Н. и др.* Очерки геохимии. Томск: Томский политехнический университет, 2015. 378 с.

2. WHO. Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Geneva: World Health Organization, 2017. 541 p.

3. *Patel A.I., Hecht C.E., Cradock A. et al.* Drinking Water in the United States: Implications of Water Safety, Access, and Consumption // Annual Review of Nutrition. 2020. Vol. 40. P. 345-373. DOI: 10.1146/annurev-nutr-122319-035707

4. *McDonough L.K., Meredith K.T., Nikagolla C., Banati R.B.* The influence of water-rock interactions on household well water in an area of high prevalence chronic kidney disease of unknown aetiology (CKDu) // Npj Clean Water. 2021. Vol. 4. № 2. DOI: 10.1038/s41545-020-00092-0

5. *Miller J., Workman C.L., Panchang S.V. et al.* Water Security and Nutrition: Current Knowledge and Research Opportunities // Advances in Nutrition. 2021. Vol. 12. Iss. 6. P. 2525-2539. DOI: 10.1093/advances/nmab075

6. *Bjørklund G., Semenova Y., Pivina L. et al.* Uranium in drinking water: a public health threat // Archives of Toxicology. 2020. Vol. 94. P. 1551-1560. DOI: 10.1007/s00204-020-02676-8

7. *Keith S., Faroon O., Roney N. et al.* Toxicological Profile for Uranium // Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US). Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2013. 526 p.

8. *Bjørklund G., Christophersen O.A., Chirumbolo S. et al.* Recent aspects of uranium toxicology in medical geology // Environmental Research. 2017. Vol. 156. P. 526-533. DOI: 10.1016/j.envres.2017.04.010

9. *Ning Gao, Zhihui Huang, Haiqiang Liu et al.* Advances on the toxicity of uranium to different organisms // Chemosphere. 2019. Vol. 237. № 124548. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124548

10. *Konietzka R.* Gastrointestinal absorption of uranium compounds – A review // Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2015. Vol. 71. Iss. 1. P. 125-133. DOI: 10.1016/j.yrtph.2014.08.012

11. *Minghao Ma, Ruixia Wang, Lining Xu et al.* Emerging health risks and underlying toxicological mechanisms of uranium contamination: Lessons from the past two decades // Environment International. 2020. Vol. 145. № 106107. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106107

12. *Vengosh A., Coyte R.M., Podgorski J., Johnson T.M.* A critical review on the occurrence and distribution of the uranium- and thorium-decay nuclides and their effect on the quality of groundwater // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 808. № 151914. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151914

13. *Darby S., Hill D., Auvinen A. et al.* Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies // British Medical Journal. 2005. Vol. 330. DOI: 10.1136/bmj.38308.477650.63

14. *Kheifets L., Swanson J., Yuan Y. et al.* Comparative analyses of studies of childhood leukemia and magnetic fields, radon and gamma radiation // Journal of Radiological Protection. 2017. Vol. 37. № 2. P. 459-491. DOI: 10.1088/1361-6498/aa5fc7

15. UNSCEAR: sources, effects and risks of ionizing radiation UNSCEAR 2017. Report to the General Assembly Scientific Annexes A and B. New York: United Nations Publication, 2018. 184 p.

16. *Злобина А.Н., Рихванов Л.П., Барановская Н.В. и др.* Радиоэкологическая опасность для населения в районах распространения высокорадиоактивных гранитов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 3. С. 111-125. DOI: 10.18799/24131830/2019/3/172

17. *Maier A., Wiedemann J., Rapp F. et al.* Radon Exposure – Therapeutic Effect and Cancer Risk // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. Iss. 1. № 316. DOI: 10.3390/ijms22010316

18. *Sahoo S.K., Jha V.N., Patra A.C. et al.* Scientific background and methodology adopted on derivation of regulatory limit for uranium in drinking water – A global perspective // Environmental Advances. 2020. Vol. 2. № 100020. DOI: 10.1016/j.envadv.2020.100020

19. *Zamora M.L., Tracy B.L., Zielinski J.M. et al.* Chronic Ingestion of Uranium in Drinking Water: A Study of Kidney Bioeffects in Humans // Toxicological Sciences. 1998. Vol. 43. Iss. 1. P. 68-77. DOI: 10.1006/toxs.1998.2426

20. *Gandhi T.P., Sampath P.V., Maliyekkal S.M.* A critical review of uranium contamination in groundwater: Treatment and sludge disposal // Science of the Total Environment. 2022. Vol. 825. № 153947. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153947

21. *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.

22. *Farkhutdinov I., Farkhutdinova L., Zlobina A. et al.* Historical aspects of medical geology // Earth Sciences History. 2020. Vol. 39. Iss. 1. P. 172-183. DOI: 10.17704/1944-6187-39.1.172

23. *Монголина Т.А., Барановская Н.В., Соктоев Б.Р.* Элементный состав солевых отложений питьевых вод Томской области // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 1. С. 204-211

24. *Арынова Ш.Ж.* Элементный состав солевых образований из природных пресных вод как индикатор экологической безопасности водопользования: Автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. 22 с.

25. *Soktoev B.R., Rikhvanov L.P., Matveenko I.A.* Mineralogical and geochemical characteristics of drinking water salt deposits // XIX International Scientific Symposium in honor of Academician M.A.Usov «Problems of Geology and Subsurface Development», 6-10 April 2015, Tomsk, Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2015. Vol. 27. № 012042. DOI: 10.1088/1755-1315/27/1/012042

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

26. *Winde F., Erasmus E., 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. Vol. 574. P. 400-421. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.035

27. *Евсеева Л.С., Перельман А.И., Иванов К.Е.* Геохимия урана в зоне гипергенеза. М.: Госатомиздат, 1974. 278 с.

28. *Langmuir D.* Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1978. Vol. 42. Iss. 6. P. 547-569. DOI: 10.1016/0016-7037(78)90001-7

29. *Silva R.J., Nitsche H.* Actinide environmental chemistry // Radiochimica Acta. 1995. Vol. 70-71. P. 377-396. DOI: 10.1524/ract.1995.7071.special-issue.377

30. *Mühr-Ebert E.L., Wagner F., Walther C.* Speciation of uranium: Compilation of a thermodynamic database and its experimental evaluation using different analytical techniques // Applied Geochemistry. 2019. Vol. 100. P. 213-222. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2018.10.006

31. *Cumberland S.A., Douglas G., Grice K., Moreau J.W.* Uranium mobility in organic matter-rich sediments: A review of geological and geochemical processes // Earth-Science Reviews. 2016. Vol. 159. P. 160-185. DOI: 10.1016/j.earscirev.2016.05.010

32. *Geskeis H., Lützenkirchen J., Polly R. et al.* Mineral-water interface reactions of actinides // Chemical Reviews. 2013. Vol. 113. Iss. 2. P. 1016-1062. DOI: 10.1021/cr300370h

33. *Gurzhiy V.V., Kalashnikova S.A., Kuporev I.V., Plášil J.* Crystal chemistry and structural complexity of the uranyl carbonate minerals and synthetic compounds // Crystals. 2021. Vol. 11. Iss. 6. № 704. DOI: 10.3390/cryst11060704

34. *Elless M.P., Lee S.Y.* Uranium solubility of carbonate-rich uranium-contaminated soils // Water, Air, and Soil Pollution. 1998. Vol. 107. P. 147-162. DOI: 10.1023/a:1004982515941

35. *Kelly S.D., Rasbury E.T., Chattopadhyay S. et al.* Evidence of a stable uranyl site in ancient organic-rich calcite // Environmental Science and Technology. 2006. Vol. 40. Iss. 7. P. 2262-2268. DOI: 10.1021/es051970v

36. *Rihs S., Sturchio N.C., Orlandini K. et al.* Interaction of uranyl with calcite in the presence of EDTA // Environmental Science and Technology. 2004. Vol. 38. Iss. 19. P. 5078-5086. DOI: 10.1021/es049847b

37. *Zhiwei Niu, Xiaoyan Wei, Shirong Qiang et al.* Spectroscopic studies on U(VI) incorporation into $CaCO_3$: Effects of aging time and U(VI) concentration // Chemosphere. 2019. Vol. 220. P. 1100-1107. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.01.010

38. *Фархутдинова Л.М., Фархутдинов И.М.* Республика Башкортостан как научный полигон для исследований в области медицинской геологии // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2017. Т. 23. № 2 (86). С. 83-92.

39. *Абдрахманов Р.Ф., Бурячок О.В., Бахтияров С.А.* Формирование подземных вод города Уфы // Геологический сборник. 2011. Т. 9. С. 262-275.

40. *Абдрахманов Р.Ф.* Гидрогеохимия урбанизированных территорий Южного Предуралья // Геохимия. 2019. Т. 64. № 7. С. 733-741. DOI: 10.31857/S0016-7525647733-741

41. Качество питьевой воды. URL: https://www.ufavodokanal.ru/voda/water-quality (дата обращения 16.03.2021).

42. *Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Егорова Н.Н. и др.* Гигиеническая характеристика риска влияния качества воды на здоровье населения крупного промышленного центра // Медицина труда и экология человека. 2016. № 3. С. 11-17.

43. *Фархутдинов И.М., Соктоев Б.Р., Рихванов Л.П. и др.* Влияние геологических факторов на распределение урана и тория в солевых отложениях питьевых вод (Республика Башкортостан) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 4. С. 16-27. DOI: 10.18799/24131830/2020/4/2590

44. *Farkhutdinov I., Soktoev B., Zlobina A. et al.* Influences of geological factors on the distribution of uranium in drinking water limescale in the junction zone of the East European Platform and the Southern // Chemosphere. 2021. Vol. 282. № 131106. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131106

45. Патент № 2298212 РФ. Способ определения участков загрязнения ураном окружающей среды / Л.П.Рихванов, Е.Г.Язиков, Н.В.Барановская, Е.П.Янкович. Опубл. 27.04.2007. Бюл. № 12.

46. *Григорьев Н.А.* Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.

47. *Соктоев Б.Р., Рихванов Л.П., Арынова Ш.Ж., Барановская Н.В.* Естественные радиоактивные элементы (Th, U) в солевых отложениях природных пресных вод // Материалы V Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», 13-16 сентября 2016, Томск, Россия. ООО «СТТ», 2016. С. 599-603.

***Авторы*: И.М.Фархутдинов,** *канд. геол.-минерал. наук, ученый секретарь, главный менеджер, https://orcid.org/0000-0001-8494-8154* (*Государственный геологический музей им. В.И.Вернадского РАН, Москва, Россия*; *ООО «РН-БашНИПИнефть», Уфа, Республика Башкортостан, Россия*), **Р.Р.Хайруллин,** *ведущий специалист, hairullinrr@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1318-2718* (*Уфимский федеральный исследовательский центр РАН, Уфа, Республика Башкортостан, Россия*), **Б.Р.Соктоев,** *канд. геол.-минерал. наук, доцент, https://orcid.org/0000-0002-4102-4282* (*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*), **А.Н.Злобина,** *канд. геол.-минерал. наук, старший преподаватель, https://orcid.org/0000-0003-2748-8088* (*Башкирский государственный университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия*), **Е.И.Чесалова,** *научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0003-3479-7241* (*Государственный геологический музей им. В.И.Вернадского РАН, Москва, Россия*), **А.М.Фархутдинов,** *канд. геол.-минерал. наук, исследователь, https://orcid.org/0000-0003-4451-6052* (*Университет Сержи-Париж, Сержи, Франция*), **А.В.Ткачев,** *д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0001-9714-8404* (*Государственный геологический музей им. В.И.Вернадского РАН, Москва, Россия*).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0