

## НАКОПЛЕНИЕ УРАНА В ВОЛОСАХ ЧЕЛОВЕКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

Д.В. Наркович, Н.В. Барановская

Томский политехнический университет, Томск, Россия, narkovich@tpu.ru

## URANIUM ACCUMULATION IN HUMAN HAIR UNDER THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC FACTORS

D.V. Narkovich, N.V. Baranovskaya

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Поступление радионуклидов в окружающую среду происходит в основном за счет деятельности предприятий ядерно-топливного цикла, использования в военных действиях боеприпасов, содержащих уран (инциденты в Косово и Кувейте), атомных и термоядерных взрывов и др. Все это приводит к локальным техногенным преобразованиям территорий и к накоплению элементов, в том числе урана, в организме человека. Волосы человека широко используются для оценки воздействия урана на человеческий организм, потому что их легко отбирать, и они отражают относительно долгосрочное воздействие. В статье приводятся уровни содержания урана техногенного происхождения в волосах и рассматриваются механизмы его воздействия на организм человека.

Release of radionuclides into the environment is mainly due to the activity of the nuclear fuel cycle, the use of depleted uranium weapons (incidents in Kosovo and Kuwait), atomic and thermonuclear explosions, and others. It leads to local technogenic transformations of territories and to accumulation of elements, including uranium, in a human body. Hair is a useful bio-indicator to estimate human exposure to uranium, because it is easy to collect and can reflect relatively long term exposure. The article presents the levels of technogenic uranium in the hair and examined the mechanisms of its effects on the human body.

Современный человек постоянно находится в полях радиационного излучения разного происхождения. В окружающей нас природной среде существуют источники естественных радиоактивных элементов – это горные породы с высоким содержанием урана (граниты, углеродисто-кремнистые сланцы, фосфориты и т.д.), воды, почвы [3]. Но основной вклад в присутствие радионуклидов в окружающей среде вносят все же техногенные источники: деятельность предприятий ядерно-топливного цикла, использование в военных действиях боеприпасов, содержащих уран (инциденты в Косово и Кувейте), атомные и термоядерные взрывы и др. [1, 16].

При мониторинге возможного загрязнения окружающей среды радиоактивными элементами и оценке степени их накопления в организме человека очень перспективным является исследование состава волос человека. Результаты проведенных в Национальной лаборатории США (г. Альбукерке) исследований показали, что в структуре волос сохраняется достаточное количество урана, чтобы использовать их в качестве биопробы [14].

Содержание урана в образцах волос может быть использовано для оценки профессионального облучения [15].

Многие авторы подчеркивают, что исследования волос гораздо легче провести, чем кровь или анализ мочи. Стоит отметить, что волосы были выбраны Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Агентством по охране окружающей среды для оценки токсического влияния металлов на организм человека.

Различными авторами накоплены данные по содержанию урана в волосах человека, как в аспекте его природного происхождения, так и техногенного привнесения. В мире существует достаточное количество мест, где уран в почвах и водах содержится в высоких концентрациях, превышающих различные экологические огра-

ничения, это Индия, Швеция, Финляндия и др. Для некоторых же регионов остро стоит проблема загрязнения территории ураном техногенного происхождения (например, Ирак). Данные по содержанию урана в волосах населения различных стран мира приведены в таблице 1.

Проведенный в работах анализ зависимости концентраций урана в волосах от пола показал неодинаковый результат для различных групп обследованных. В работе M. Torrente et al. существенных различий между мальчиками и девочками в содержании 12 изученных элементов, в том числе и урана, не было отмечено [21].

В противовес этому, исследования, проведенные на территории Ирака после боевой операции с применением боеголовок, содержащих уран, показали, что, как правило, повышенные уровни содержания элементов отмечались в составе волос у женщин по отношению к мужчинам. Такая же зависимость концентрации элементов от пола была обнаружена I. Rodushkin и M.D. Axelsson для широкого спектра элементов в исследованиях населения Швеции: для женщин уровни всех изучаемых элементов, сюда входит и уран, были примерно в два раза выше, чем для мужчин [16, 17]. Тем не менее, по данным R. Gonnen и др. для жителей юга Израиля в составе волос существенных различий в уровнях содержания урана между мужчинами и женщинами не обнаружено [6]. По всей вероятности, на уровень накопления урана в волосах, как в депонирующей ткани, могут влиять индивидуальные физиологические особенности организма.

Несмотря на то, что встречающийся в природе уран обладает радиоактивностью, проблема с экспозицией не является главной. В данном случае гораздо больший вред здоровью наносит токсическое действие урана, и при длительном воздействии наиболее часто наруша-

Таблица 1. Литературные данные по содержанию урана в составе волос человека

Публикация	Страна	Число измерений	Среднее, мг/кг	Разброс, мг/кг
Alaani et al., 2011 [9]	Фаллуджа, Ирак (боевые действия)	25 М + Ж	0,16	0,02–0,40
Alaani et al., 2011 [9] (исследования по длине волос)	Фаллуджа, Ирак (боевые действия)	29 Ж	0,256	0,10–0,41
Muikku et al., 2009 [15]	Финляндия (высокий природный уран)	852	0,216	0,0005–140
Akamine AU. et al., 2007 [8 <a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177876">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177876</a> . – В60]	Бразилия	22	0,0154	0,0021–0,0498
Gonnen R. et al., 2000 [6]	Израиль	99	0,062	0,01–0,18
Byrne AR. and Benedik L., 1991 [11 <a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177876">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177876</a> . – В62]	Словения	17	0,0136	0,0027–0,033
Imahori A. et al., 1997 [13] 0,0082–1,28	Япония	67 М 81 Ж	0,038 ,051	0,005–0,39
Torrente M. et al., 2014 [21]	Каталония, Испания	18 (мальчики) 35 (девочки)	0,053 0,037	н.д. – 0,139 н.д. – 0,252
Rodushkin I., Axelsson M.D., 2000 [16 <a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177876">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177876</a> . – В62]	Швеция (высокий природный уран)	114	0,057	0,006–0,436
Корогод Н.П., 2010 [2 <a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177876">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3177876</a> . – В62]	Казахстан (высокий природный уран)	100	0,30	–
Наши данные	Томская область, Россия	534	0,13	0,005–1,7

ется работа почек. Токсический эффект для почек был зарегистрирован при концентрациях урана в питьевой воде более 300 мг/л, при которой в моче отмечалось наличие ретинол-связывающего белка [7].

Техногенный уран имеет другие пути поступления в организм и иные механизмы воздействия на человека, зачастую более губительные, по сравнению с природным ураном. Так, в исследованиях S. Alaani et al., проведенных в 2011 году на территории Ирака после окончания боевых действий с применением урановых снарядов было установлено резкое увеличение числа раковых больных (болезни крови) и высокий уровень врожденных патологий развития и детской смертности. Авторами отмечается очень мощное воздействие, которое отражается в сохранении по длине волоса высоких концентраций урана даже по прошествии 40 мес. (40 см). Сокращение концентрации было примерно на уровне 50% от исходного значения [9]. В то время как результаты I. Rodushkin и M.D. Axelsson из Швеции показывают, что ожидаемое падение концентрации элемента за этот период должно быть до 90% [16]. По сравнению с контрольной группой (население Израиля) результаты по содержанию урана в волосах в Фаллудже показывают в целом значительное превышение S. Alaani et al. [9].

Если обратиться к данным таблицы, приведенный уровень содержания урана в волосах в областях военных действий и в природных урановых провинциях примерно одинаков. Стоит отметить, что содержание урана в различных средах на изученной территории Ирака не превышает установленных правительствами США и Европы экологических норм. Ввиду чего, закономерен

вопрос о природе возникновения рака. S. Alaani с соавторами [9] пришли к выводу, что для механизма воздействия урана важен путь его поступления в организм, а также в каком виде он поступает. Ими отмечается, что в тех частях мира, где зафиксированы высокие концентрации урана в питьевой воде (выше, чем в их исследовании), уровень врожденных и онкологических заболеваний возрастает не значительно [9]. Аргументы, касающиеся последствий для здоровья от использования оружия основываются на ином типе воздействия урана, который, вероятнее всего, обусловлен вдыханием керамических оксидов наночастиц. При использовании оружия с обедненным ураном создаются субмикронные аэрозольные частицы керамических оксидов урана. Вдыхание и выдыхание урана влечет за собой 200-кратное увеличение коэффициента преобразования дозы облучения (допущенное эффективной дозы облучения на единицу потребления) по сравнению с проглоченным ураном. Это происходит из-за длительного биологического полураспада урана внутри организма и очень низкой всасываемости съеденного урана в кишечнике [19, 20].

При размере менее 1 мкм в диаметре частицы керамических оксидов урана транслоцируются в лимфатической системе, где их часть может оставаться в течение более чем десяти лет. Выведение в мочу (или волосы) из крови урана, полученного из этого источника, происходит очень медленно [19, 20].

Даже по прошествии многих лет последствия таких боевых операций дают о себе знать. По мнению ряда экспертов, экологов, правозащитников и политиков,

применение боеприпасов с обедненным ураном вызывает заражение местности с последующей вспышкой раковых [7] и наследственных заболеваний [7, 9].

При этом страдает не только местное население, но и солдаты, ведущие боевые действия. Так, Р. Доyle и др. [12] сообщается о высоких показателях врожденных пороков развития у потомства ветеранов войны в Персидском заливе, живущих в Великобритании.

Источником радиоактивного загрязнения внешней среды являются также испытания ядерного оружия, проведенные до подписания договора об их запрещении. Проведенные в недавнем времени на территории Семипалатинского испытательного ядерного полигона (Казахстан) исследования показали, что до настоящего времени в изучаемых средах сохраняется загрязнение ураном. В волосах населения наибольшие концентрации урана были выявлены в зоне максимального воздействия полигона [10].

В условиях мирного времени одним из основных техногенных источников урана являются предприятия ядерно-топливного цикла. Предприятия атомной энергетики могут загрязнять внешнюю среду на всех этапах ядерно-топливного цикла.

В Томской области более 50 лет функционирует крупнейшее в России и мире предприятие по производству оружейного плутония – Сибирский химический комбинат (СХК). Он был основан в годы “холодной войны” в соответствии с Постановлением Правительства СССР №1252–443 от 26 марта 1949 г. с целью “ликвидировать монополию США в ядерном вооружении”. Комбинат со-

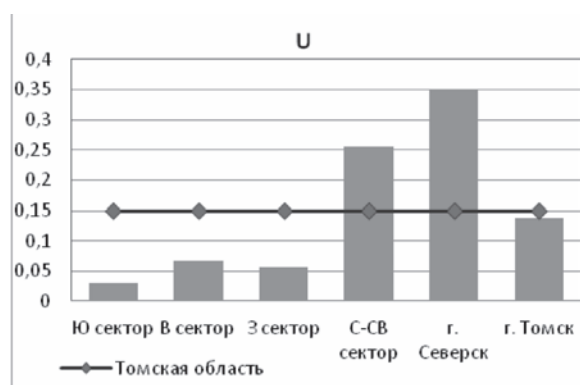
здан как единый комплекс ядерного технологического цикла, включающий в себя практически все виды производств. На территории СХК было построено 5 промышленных реакторов, в настоящее время остановлены все, последние два остановлены в апреле и июне 2008 г.

Воздействие СХК на природную среду многокомпонентно и усиливается за счет совместного воздействия радиоактивных и химических веществ. Загрязнение окружающей среды происходит в результате плановых (штатных) газоаэрозольных выбросов в атмосферу, сбросов сточных вод, содержащих радионуклиды, в р. Томь, а также вследствие хранения и захоронения жидких и твердых радиоактивных отходов. За пятидесятилетний период деятельности на комбинате произошло более 30 аварийных инцидентов, причем пять из них (включая аварию 06.04.93 г.) относятся к третьему уровню по международной шкале событий на атомных станциях и квалифицируются как серьезные происшествия [4].

По данным исследований, проведенных после аварии 1993 г., почвы в зоне влияния СХК резко отличаются по величине отношения  $^{238}\text{U}$  к  $^{235}\text{U}$ , по отношению тория к урану, а также по наличию большого количества микровключений “горячих частиц” делящихся элементов ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и др.), выявляемых методом осколочной ф-радиографии. Наличие техногенных радионуклидов отмечается в годовых кольцах деревьев, уровень накопления которых в зоне влияния превышает глобальный и региональный уровни в 3–4 и более раза. А также они присутствуют в поверхностных водах, переносятся с пылеаэрозолями и т.п. [5]. При вдыхании и по пищевым цепям уран легко проникает в организм жителей и фиксируется в составе волос.

По данным изучения элементного состава волос детского населения в зоне влияния СХК нами выделены сектора с учетом преобладающей “розы ветров” (оси проведены через г. Томск). Максимальные концентрации урана в волосах зафиксированы у детей, проживающих в г. Северске (где непосредственно расположено предприятие), в меньших количествах он накапливается в волосах в север–северо-восточном секторе (зона преимущественного ветрового переноса веществ) (рис. 1).

Более детальные исследования на территории север–северо-восточного сектора были проведены в н.п. Наумовка. Результаты исследований показали, что содержание большинства элементов, в том числе и радиоактивных (U, Th) имеет более высокие значения в пробах волос детей, отобранных через 4 года после аварии на СХК по сравнению с более поздним опробованием 2006 г. (табл. 2).



**Рис. 1.** Содержание радиоактивных элементов (мг/кг, сухой вес) в волосах детского населения в разных секторах Томского района и гг. Северск и Томск: Ю сектор – южный сектор (условно фоновая территория); В сектор – восточный сектор; З сектор – западный сектор; С-СВ сектор – сектор север–северо-восточного направления влияния СХК

**Таблица 2.** Среднестатистические параметры содержания урана в волосах детей, проживающих в н.п. Наумовка

Элемент, мг/кг	Год пробоотбора	Кол-во проб	Среднее	Ст. ошибка	Минимум	Максимум
U	1997 год	6	0,4	0,1	0,1	0,95
U	2006 года	8	0,04	0,01	0,02	0,02

В целом, в регионах подверженных воздействию ядерного техногенеза (предприятия ядерно-топливного цикла (Томская и Челябинская области) и близость Семипалатинского полигона испытания ядерных взрывов к Р. Алтай), по результатам наших исследований фиксируются высокие содержания урана.

Элементный состав волос является уникальным объектом, который объективно отражает поступление урана из окружающей среды вне зависимости от источника его поступления. В исследованиях оценки степени накопления урана в организме человека стоит четко разделять источники его предполагаемого происхождения. Уран, поступающий в окружающую среду в результате техногенеза является сильным загрязнителем и наносит непоправимый вред здоровью населения.

#### Литература

1. Бушманов А.Ю. Радиоактивные элементы и здоровье человека // *Микроэлементы в медицине*. – 2000. – № 1. – С. 26–30.
2. Корогод Н.П. Оценка качества урбозокосистемы в условиях г. Павлодара по данным элементного состава волос детей : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2010. – 23 с.
3. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск : Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
4. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2011 году / гл. ред. А.М. Адам ; редколл. В.А. Коняшкин, А.В. Дмитриев, Ю.В. Лулева ; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГБУ "Облкомприрода". – Томск : Графика ДТР, 2012. – 166 с.
5. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Языков, Ю.И. Сухих и др. – Томск, 2006. – 216 с.
6. Determination of Uranium in human hair by acid digestion and FIAS-ICPMS / R. Gonnen, R. Kol, Y. Laichter et al. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* – 2000. – Vol. 243(2). – P. 559–562.
7. Aitken M. Gulf War leaves a legacy of cancer // *British Medical Journal*. – 1999. – Vol. 319(7207). – P. 401.
8. 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 et al. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* – 2007. – Vol. 271. – P. 607–609.
9. Uranium and other contaminants in hair from the parents of children with congenital anomalies in Fallujah, Iraq [Электронный ресурс] / S. Alaani, M. Tafash, C. Busby et al. // *Conflict and Health*. – 2011. – No. 5. – URL: <http://www.conflictandhealth.com/content/5/1/15> (10.05.2016).
10. Regional specifics of element composition in the hair of children living on the territories adjacent to Semipalatinsk nuclear test site [Электронный ресурс] / K. Apsalikov, A. Lipikhina, A. Abduazhitova et al. // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. – 2014. – No. 2. – URL: [www.science-sd.com/457-24564](http://www.science-sd.com/457-24564) (25.04.2016).
11. 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 // *The Science of the Total Environment*. – 1991. – Vol. 107. – P. 143–157.
12. Miscarriage, stillbirth and congenital malformation in the offspring of UK veterans of the first Gulf war / P. Doyle, N. Maconochie, G. Davies et al. // *Int. J. Epidemiol.* – 2004. – Vol. 33. – P. 74–86.
13. Multielement neutron activation analysis of human scalp hair. A local population survey in the Tokyo metropolitan area / A. Imahori, I. Fukushima, S. Shiobara et al. // *J. Radioanal. Chem.* – 1979. – Vol. 52(1). – P. 167–180.
14. 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 et al. // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2005. – Vol. 263, No. 1. – P. 189–195.
15. 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. Ilus // *Health Phys.* – 2009. – Vol. 96(6). – P. 646–654.
16. Rodushkin I., Axelsson M.D. Application of double focusing sector field ICPMS for multielemental characterization of human hair and nails. Part I. Analytical methodology // *The Science of the Total Environment*. – 2000. – Vol. 250. – P. 83–100.
17. Rodushkin I., Axelsson M.D. Application of double focusing sector field ICP-MS for multielemental characterization of human hair and nails. Part II. A study of the inhabitants of northern Sweden // *The Science of the Total Environment*. – 2000. – Vol. 262. – P. 21–36.
18. Trace Elements in Scalp Hair Samples from Patients with Relapsing-Remitting Multiple Sclerosis / E. Tamburo, D. Varrica, G. Dongarra et al. // *PLOS One*. – 2015. – No. 10(4). – URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4391939/> (07.02.2016).
19. The Royal Society. The Health Effects of Depleted Uranium Munitions: Part I. – London : The Royal Society, 2001.
20. The Royal Society. The Health Effects of Depleted Uranium Munitions: Part II. – London : The Royal Society, 2002.
21. Levels of Metals in Hair in Childhood: Preliminary Associations with Neuropsychological Behaviors / M. Torrente, M. Gascon, M. Vrijheid et al. // *Toxics*. – 2014. – No. 2. – P. 1–16.