УДК 614.7+612.799.1(470.57) DOI: 10.33396/1728-0869-2020-1-17-24

УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ КАДМИЯ И СВИНЦА В ВОЛОСАХ НАСЕЛЕНИЯ ЗАУРАЛЬСКОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

© 2020 г. [2]Ю. С. Рафикова, [1,2]И. Н. Семенова, [1,2]Р. Ф Хасанова, [1,2]Я. Т. Суюндуков

[1]ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», Сибайский институт, г. Сибай, Республика Башкортостан; [2]ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», г. Сибай, Республика Башкортостан

Цель работы: изучить содержание кадмия и свинца в волосах жителей зауральской зоны Республики Башкортостан (РБ) в зависимости от возраста и пола. *Методы*. Химико-аналитические исследования волос проводились в лицензированной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (Москва) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой. Статистический анализ выполнялся с использованием программы Statistica 6.0, при $p < 0,05$ различия оценивались как статистически значимые. *Результаты*. Распределение содержания кадмия и свинца в волосах обследованных лиц (102 мужчин и 177 женщин) отличалось от нормального. Медиана (Me) содержания кадмия в волосах взрослых мужчин составила 0,089 мкг/г, что выше этого показателя для РБ (0,075 мкг/г) и Приволжского федерального округа (0,052 мкг/г). Повышенный по сравнению с региональными показателями уровень кадмия имели 58,5 % взрослых мужчин. В волосах девочек 1–14 лет выявлен повышенный (Me = 0,764 мкг/г) по сравнению с Российской Федерацией (Me = 0,727 мкг/г) уровень свинца. Содержание кадмия и свинца в волосах взрослых мужчин и женщин имело значимые различия ($p = 0,042$ и $p = 0,020$ соответственно). *Вывод*. В результате проведенного исследования у ряда жителей зауральской зоны Башкортостана выявлены повышенные концентрации токсичных металлов кадмия и свинца в волосах, что требует усиления контроля над уровнем тяжелых металлов в атмосферном воздухе, почве, воде, продуктах питания и проведения мероприятий по снижению риска для здоровья населения.

Ключевые слова: волосы, свинец, кадмий, здоровье населения

CADMIUM AND LEAD CONCENTRATIONS IN HUMAN HAIR IN THE TRANS-URALS REGION OF BASHKORTOSTAN REPUBLIC

[2]Yu. S. Rafikova, [1,2]I. N. Semenova, [1,2]R. F. Khasanova, [1,2]Ya. T. Suyundukov

[1]Bashkir State University, Sibaysky Institute (branch), Sibay, Russia;
[2]Institute of Strategic researches of the Republic of Bashkortostan, Sibay, Russia

Objective: to study the content of cadmium and lead in the hair of the inhabitants of the Trans-Ural region of the Republic of Bashkortostan (RB). *Methods*. Chemical-analytical studies of samples were carried out in the licensed laboratory of the Center for Biotic Medicine (Moscow) by mass spectrometry with inductively coupled argon plasma. Statistical analysis was performed using the Statistica 6.0 software. *Results*. The distribution of cadmium and lead in the hair of the examined individuals was different from normal thus non-parametric methods of analysis were applied. The median (Me) content of cadmium in the hair of adult men was 0.089 μg/g, which is higher than that for RB (0.075 μg/g) and Russian Federetion (RF) (0.052 μg/g). An increase in the level of cadmium compared to regional indicators was observed in 58.5 % of adult men. In the hair of girls aged 1-14 years, the level of lead was detected (Me = 0.764 μg/g) compared with RB (Me = 0.410 μg/g) and RF (Me = 0.727 μg/g) lead level. The content of cadmium and lead in the hair of men and women had significant differences ($p = 0.042$ and $p = 0.020$ respectively). *Conclusion*: the results indicate the need to strengthen control over cadmium and lead level in the air, soil, water, food and develop measures to reduce the risk to public health.

Key words: hair, lead, cadmium, public health

Библиографическая ссылка:
Рафикова Ю. С., Семенова И. Н., Хасанова Р. Ф., Суюндуков Я. Т. Уровни содержания кадмия и свинца в волосах населения зауральской зоны Республики Башкортостан // Экология человека. 2020. № 1. С. 17–24.

For citing:
Rafikova Yu. S., Semenova I. N., Khasanova R. F., Suyundukov Ya. T. Cadmium and Lead Concentrations in Human Hair in the Trans-Urals Region of Bashkortostan Republic. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 1, pp. 17-24.

Химические элементы, входящие в состав тканей и органов живых организмов, во многом определяют физиологическое состояние организма, процессы его роста и развития. Некоторые из них оказывают на организм человека токсическое воздействие. К ним относятся так называемые тяжелые металлы (кадмий, свинец, ртуть и др.), а также мышьяк [1, 15, 16, 24]. Аккумуляция токсичных элементов в организме человека во многом определяется экологическими условиями жизни и часто коррелирует с содержанием их в объектах окружающей среды [6, 13]. Элементный портрет населения различных территорий имеет свои региональные особенности, в значительной степени они специфичны в аномальных геохимических провинциях с избытком или дефицитом различных химических элементов в среде обитания.

Население Республики Башкортостан (РБ) подвергается комплексному воздействию вредных факторов, обусловленных геохимическими особенностями регионов, интенсивным загрязнением объектов окру-

жающей среды, выбросами и сбросами крупнейших предприятий горнодобывающего и транспортного комплексов. Ведущее гигиеническое значение в этом комплексе вредных природно-антропогенных факторов имеет высокое содержание в воде, почве, местных пищевых продуктах и продовольственном сырье высокотоксичных металлов, в частности хрома, мышьяка, кадмия, никеля, свинца и ртути, а также повышенные дозы облучения отдельных групп населения за счет природных источников [9].

Показано, что элементный состав волос взрослого населения РБ в целом характеризуется повышенным содержанием кадмия, свинца, олова, ванадия, меди и дефицитом железа, марганца, кремния, иода, цинка. Отмечено, что на население РБ существенное влияние оказывают неблагоприятные экологические факторы, что приводит к формированию специфического спектра гипер- и гипоэлементозов, которые в первую очередь могут повышать риск онкозаболеваемости, развития анемий, психоневрологических и нейроэндокринных расстройств, патологии репродуктивной системы [14].

Зауральская зона расположена в восточной и юго-восточной частях РБ на территории геохимической провинции общей площадью 31 901 км^2. Здесь находится ряд административных районов с общей численностью населения 261,9 тыс. человек. В силу своего географического положения территория Зауралья имеет свою специфику по содержанию химических элементов в окружающей среде, обусловленную наличием многочисленных полиметаллических, медноколчеданных, марганцевых, медно-кобальтовых и золотосульфидных залежей, к числу которых относятся Сибайское, Юбилейное, Учалинское и другие месторождения. На базе полиметаллических руд построены и функционируют крупнейшие горнодобывающие предприятия цветной металлургии. Показано, что почвы вблизи крупных объектов горнорудного производства в значительной степени загрязнены медью, цинком, кадмием, свинцом и другими тяжелыми металлами [8, 12]. В небольших сельских поселениях в местах размещения отработанных и заброшенных карьеров (Баймакский район), а также в районах с отсутствием крупных промышленных предприятий (Абзелиловский, Бурзянский, Зилаирский, Зианчуринский) в объектах окружающей среды также выявлен повышенный уровень ряда химических элементов, прежде всего меди, цинка, железа, кадмия [26, 27].

Концентрации таких металлов, как кадмий, мышьяк, ртуть и свинец, в волосах имеют тенденцию коррелировать с количеством этих же металлов во внутренних органах [22]. Это одна из причин, почему волосы рассматриваются в качестве диагностического инструмента, в частности, при изучении воздействия тяжелых металлов и других поллютантов на организм.

Особенности аккумуляции токсичных металлов в волосах населения геохимической провинции РБ с повышенным уровнем тяжелых металлов в объектах окружающей среды были изучены на примере отдельных сельских поселений с использованием выборок детского населения [11, 26]. Однако исследований половых и возрастных различий в содержании токсичных химических элементов среди всего населения региона не проводилось. В этой связи целью данной работы явилось изучение содержания токсичных металлов кадмия и свинца в волосах населения зауральской зоны РБ в зависимости от пола и возраста.

Методы

В период с 2013 по 2018 год проведено аналитическое поперечное неконтролируемое исследование, в котором приняли участие 279 клинически здоровых жителей Зауралья РБ – 102 мужчины (36,6 %) и 177 женщин (63,4 %), разделенных на 8 групп в зависимости от пола и возраста (табл. 1). В исследование включались лица, постоянно проживающие на исследуемой территории в течение практически всей своей жизни независимо от их национальности (в основном башкиры и русские). Объем выборки составил 0,1 % от всего населения территории.

Таблица 1

Характеристика исследуемой выборки

Показатель	Всего	Новорожденные	Дети 1–14 лет	Дети 15–17 лет	Взрослые
Количество обследуемых	279	12	143	41	83
мужчин	102	7	63	15	17
женщин	177	5	80	26	66
Средний возраст (M±SD)		0	8,6 ± 4,0	15,7 ± 0,6	41,5 ± 15,1

В работе был использован пакет методических документов по обследованию населения, включающий бланк добровольного информированного согласия, анкету для заполнения, подробное описание процедуры отбора биоматериала, условия хранения и транспортировки проб. Все обследованные лица в возрасте старше 18 лет в обязательном порядке подписывали добровольное информированное согласие с включением права узнать результаты собственного обследования. Забор образцов волос детей производили в присутствии родителей также с их письменного информированного согласия.

Образцы волос отбирались с затылочной зоны (МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03) в бумажные конверты и хранились до анализа в сухом месте при комнатной температуре. Элементный анализ волос проводили в аккредитованной испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины», Москва, Россия (ISO 9001:2008 сертификат 54Q10077 от 21.05.2010) с применением комбинации методов атомно-эмиссионной спектрометрии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС и ИСП-МС) (МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03). Перед минерализацией образцы волос обрабатывали в ацетоне (осч, Химмед, Россия) 10–15 мин, затем промывали трижды деионизированной водой

(18 МОм×см); полученной в электрическом дистилляторе с комбинированной мембранной установкой типа ДВС-М/1НА-1(2)-L (Медиана-Фильтр, Россия). После этого их выдерживали при температуре 60 °С до воздушно-сухого состояния. Навески образцов массой 0,05 г минерализовались в тефлоновых вкладышах с 5 мл азотной кислоты (осч, Химмед, Россия) в системе микроволнового разложения Multiwave 3000 (PerkinElmer – A. Paar, Австрия) с использованием следующего режима: 5 мин повышение температуры до 200 °С, 5 мин выдерживание при 200 °С, затем охлаждение до 45 °С. Полученные растворы переносили в полипропиленовые пробирки, тефлоновые вкладыши и крышки промывали трижды деионизированной водой с перенесением смыва в соответствующие пробирки. Затем растворы доводили до объема 15 мл деионизированной водой и тщательно перемешивали путем встряхивания в закрытых пробирках.

Определение содержания химических элементов проводили с использованием спектрометров Optima 2000 DV (PerkinElmer, США) и ELAN 9000 (PerkinElmer – SCIEX, Канада). Градуировку инструментов проводили с использованием моноэлементных растворов PerkinElmer. Качество определения контролировали с помощью референсного образца GBW09101 (Шанхайский институт ядерных исследований, Китай).

Результаты собственных исследований по содержанию химических элементов в волосах сравнивали с центильными интервалами (q25–q75) ряда популяционных исследований, рассматривая их в качестве референсных значений: для взрослых – в РБ и на территории Приволжского федерального округа (ПФО) Российской Федерации (РФ), в состав которого входит изучаемый регион [14], для детей – на территории РФ [4] в связи с отсутствием подобных исследований на территории РБ.

Математическую обработку полученных данных проводили при помощи пакета прикладных программ Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США) с использованием методов непараметрической статистики. Тип распределения для выборок определяли с помощью критерия Шапиро – Уилка. Параметры с распределением, отличным от нормального, и наличием ряда экстремальных значений представляли как медиану (Me), а в качестве мер рассеивания проводили вычисление перцентилей 25–75 % (q25–q75). Значимость различий изучаемых параметров анализировали с применением критерия Манна – Уитни. Пороговое значение уровня значимости принимали равным 0,05. Для определения тесноты и значимости связи между параметрами применяли критерий ранговой корреляции Спирмена (rs), который является непараметрическим аналогом коэффициента Пирсона для интервальных и порядковых переменных, не подчиняющихся нормальному распределению.

Результаты

Тип распределения содержания кадмия и свинца в волосах обследованных лиц, выявленный с помощью критерия Шапиро – Уилка, не соответствовал нормальному. Поэтому сравнение полученных результатов со среднероссийскими и региональными показателями проводили с использованием медианы и 25–75 перцентилей (табл. 2 и 3).

Сравнение содержания кадмия и свинца в волосах взрослых мужчин и женщин с применением критерия Манна – Уитни выявило их значимые различия (p = 0,001) (см. табл. 2 и 3).

Проведенные исследования накопления токсичных металлов в волосах детей зауральской зоны РБ показали, что медиана содержания свинца и кадмия не превышала среднероссийских показателей. Вместе с тем ряд обследованных детей имеет повышенный по сравнению со среднероссийским уровень этого металла, а именно: 12,7 % мальчиков и 10,0 % девочек в возрасте до 14 лет и 19,2 % девочек-подростков (табл. 4).

Среди взрослого населения было выявлено, что медиана концентрации кадмия в волосах мужчин зауральской зоны (0,089 мкг/г) выше соответствующего показателя этого химического элемента для мужского населения РБ (0,075 мкг/г) и ПФО (0,052 мкг/г) (см. табл. 2). Повышенный по сравнению с РБ уровень кадмия в волосах был выявлен у 58,8 % взрослых мужчин и у 45,5 % женщин (см. табл. 4).

Таблица 2

Содержание кадмия в волосах населения Башкирского Зауралья, мкг/г

Показатель	Мужчины				Женщины				p
	n	q25	Me	q75	n	q25	Me	q75	
Новорожденные	7	0,003	0,006	0,013	5	0,004	0,005	0,005	0,37
Дети 1–14 лет	63	0,027	0,035	0,065	80	0,023	0,040	0,071	0,46
Подростки 15–17 лет	15	0,013	0,019	0,052	26	0,014	0,021	0,052	0,55
Взрослые 18–76 лет	17	0,024	0,089	0,171	66	0,011	0,020	0,047	0,001*
Зауралье РБ	102	0,019	0,035	0,070	177	0,015	0,030	0,056	0,042*
РБ [11]	514	0,033	0,075	0,193	624	0,012	0,027	0,053	–
ПФО [11]	3275	0,022	0,052	0,135	7453	0,011	0,021	0,043	–
РФ [4]	2427	0,044	0,140	0,287	2921	0,026	0,108	0,236	–

Примечания для табл. 2 и 3: p – уровень значимости различий между лицами мужского и женского пола в соответствующей возрастной группе; статистически значимое различие выделено знаком *.

Таблица 3

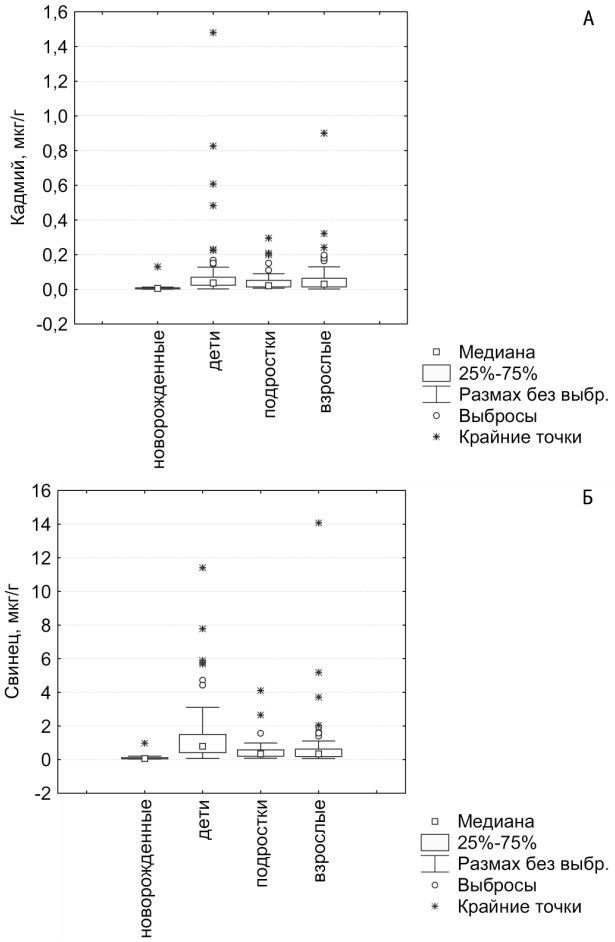
Содержание свинца в волосах населения Башкирского Зауралья, мкг/г

Показатель	Мужчины				Женщины				p
	n	q25	Me	q75	n	q25	Me	q75	
Новорожденные	7	0,048	0,056	0,153	5	0,058	0,066	0,073	0,94
Дети 1–14 лет	63	0,472	0,897	1,440	80	0,369	0,764	1,670	0,22
Подростки 15–17 лет	15	0,189	0,272	0,488	26	0,207	0,375	0,639	0,18
Взрослые 18–76 лет	17	0,337	0,788	1,650	66	0,160	0,320	0,540	0,001*
Зауралье РБ	102	0,278	0,643	1,290	177	0,210	0,463	0,914	0,020*
РБ [11]	514	0,500	1,090	2,510	624	0,230	0,410	0,770	–
ПФО [11]	3275	0,410	0,860	2,020	7453	0,170	0,320	0,620	–
РФ [4]	2427	0,580	1,490	3,000	2921	0,250	0,727	1,500	–

Таблица 4

Распространенность превышения верхнего референсного уровня кадмия и свинца в волосах населения Башкирского Зауралья, %

Возрастная группа	Кадмий		Свинец	
	Муж.	Жен.	Муж.	Жен.
Новорожденные (от 1 до 10 дней)	0	0	0	0
Дети 1–14 лет	12,7	10,0	20,6	53,8
Подростки 15–17 лет	0	19,2	0	19,2
Взрослые	58,8	45,5	41,2	33,3



Диаграммы размаха содержания кадмия (А) и свинца (Б) в волосах населения зауральской зоны Республики Башкортостан

Анализ содержания токсичных элементов в волосах лиц разного возраста показал, что для кадмия наибольшие значения были зарегистрированы в волосах детей в возрасте 1–14 лет. Максимальные показатели в этом случае превышали 1,4 мкг/г. Также высокие значения уровня этого химического элемента были зарегистрированы в группе взрослых (около 0,9 мкг/г) (рисунок А). С применением критерия Манна – Уитни выявлены статистически значимые различия в содержании кадмия в волосах между следующими группами: новорожденных и детей в возрасте 1–14 лет ($p < 0,001$), детей 1–14 лет и подростков ($p = 0,001$), мальчиков-подростков и взрослых мужчин ($p = 0,003$), девочек в возрасте 1–14 лет и взрослых женщин ($p = 0,002$).

В волосах некоторых взрослых обнаружено очень высокое содержание свинца, превышающее 14 мкг/г. В волосах детей в возрасте от 1 года до 14 лет содержание свинца в ряде случаев достигало 11 мкг/г (рисунок Б). Значимые различия в содержании свинца в волосах выявлены, как и в случае кадмия, между группами новорожденных и детей в возрасте 1–14 лет ($p < 0,001$), детей 1–14 лет и подростков ($p < 0,001$), а также между группами подростков и взрослых ($p = 0,003$), девочек в возрасте 1–14 лет и взрослых женщин ($p < 0,001$).

Сравнение относительных показателей – встречаемости отклонений от референсных значений для РБ и ПФО выявило, что повышенные уровни свинца обнаружены у 20,6 % мальчиков и 53,8 % девочек в возрасте от 1 до 14 лет, у 19,2 % девочек-подростков, у 41,2 % мужчин и у 33,3 % женщин (см. табл. 4).

Между содержанием в волосах кадмия и содержанием свинца выявлена положительная корреляция высокой степени (табл. 5).

Таблица 5

Коэффициент корреляции между уровнями кадмия и свинца в волосах населения Башкирского Зауралья, мкг/г

Возрастная группа	rs
Новорожденные (от 1 до 10 дней)	0,82
Дети 1–14 лет	0,76
Подростки 15–17 лет	0,77
Взрослые	0,78

Обсуждение результатов

В данной статье мы приводим результаты изучения региональных особенностей накопления кадмия и свинца в волосах женщин и мужчин разного возраста, проживающих на территории зауральской зоны РБ, известной ее многочисленными месторождениями руд цветных металлов и развитой горнорудной промышленностью. Волосы имеют преимущество перед другими биологическими тканями, рассматриваемыми в качестве биомаркеров химического воздействия, прежде всего как аккумуляторы химических элементов, анализ содержания которых дает возможность ретроспективно восстановить воздействие поллютантов за определенный промежуток времени [20].

Оценивая половые различия в содержании кадмия и свинца в волосах жителей Зауралья Башкортостана, можно констатировать, что уровень этих элементов в волосах мужчин выше по сравнению с их содержанием в волосах женщин (см. рис. 2). Полученный результат согласуется с данными, представленными в ряде работ [2, 14, 18]. По нашему мнению, существует несколько причин такого различия.

Во-первых, известно, что организм женщин обладает большей устойчивостью к накоплению кадмия, поскольку эстрогены усиливают его выведение из организма и тем самым снижают его уровень [16].

Во-вторых, кадмий в большом количестве накапливается в листьях табака, что определяет его высокое содержание в табачном дыме и содействует повышению содержания элемента в среде обитания человека [23]. Вероятно, с табакокурением связано выявленное в наших исследованиях различие в содержании кадмия в волосах взрослых мужчин и женщин; более распространено оно среди лиц мужского пола. Однако не всегда содержание кадмия в волосах курящих лиц превышает его концентрацию у некурящих. Например, исследование содержания кадмия в волосах 16 курящих и 133 некурящих жителей штата Северная Каролина (США) не выявило между ними статистически значимых различий [21]. Авторы объясняют полученный результат наличием помимо сигаретного дыма дополнительных факторов, оказывающих влияние на накопление кадмия в волосах (пол, возраст, раса и др.).

Еще одной причиной гендерных различий в содержании кадмия в волосах, по нашему мнению, является тот факт, что мужчины чаще, чем женщины, водят автомобиль и, следовательно, в большей степени подвергаются воздействию дорожной пыли, получающейся при истирании шин и тормозных колодок, в состав которых входит кадмий. Влияние объема дорожной пыли на аккумуляцию кадмия в волосах подтверждает тот факт, что у городских некурящих регулировщиков дорожного движения содержание этого химического элемента в организме в полтора раза больше, чем у некурящих дорожных рабочих из сельской местности [19].

Кроме того, такое различие между мужчинами и женщинами в накоплении токсичных элементов может быть связано с их профессиональной деятельностью. Как известно, на предприятиях цветной металлургии, являющихся источником антропогенного кадмия в окружающей среде, рабочими как в Зауралье Башкортостана, так и в целом по стране в основном трудятся мужчины. Так, показано, что у работников Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината содержание кадмия в волосах в два раза превышало этот показатель для лиц мужского пола, профессионально не связанных с горнорудным производством и цветной металлургией [10].

Накопление свинца в организме человека связано с высоким индустриальным загрязнением и выбросами автомобильного транспорта, работающего на этилированном бензине и выбрасывающего с выхлопными газами значительные объемы свинца в виде твердых частиц [15]. Возможно, как и в случае с кадмием, мужчины чаще, чем женщины, контактируют с «вредными факторами» по месту проживания или работы, в большей степени способствующих накоплению свинца в организме.

Еще одной возможной причиной более высокого содержания токсичных микроэлементов в волосах мужчин является их повышенная физическая активность по сравнению с женщинами. Так, установлено, что студенты с более высокой физической активностью характеризуются увеличением в волосах уровня свинца, кадмия и ряда других тяжелых металлов [28]. Авторы предполагают, что повышенный уровень токсичных микроэлементов в волосах спортсменов может быть результатом усиленного обмена веществ. В частности, расход энергии при выполнении упражнений требует повышенного потребления пищи. Последнее может привести к увеличению поступления микроэлементов в организм.

Наряду с этим имеются сообщения о том, что уровень кадмия и свинца в волосах мужчин и женщин не всегда имеет статистически значимые различия [21]. В наших исследованиях половые различия в содержании кадмия и свинца имели место только среди взрослых жителей, но не среди детей разного возраста (см. табл. 2 и 3).

Результаты исследований половых различий в содержании кадмия и свинца в волосах детей, приводимые в литературе, носят противоречивый характер. Так, имеются данные в пользу более высокой концентрации кадмия и свинца в волосах мальчиков по сравнению с девочками [2, 4, 20]. В то же время в других публикациях у детей не обнаружено половых различий в содержании этих элементов в волосах [5, 17].

В литературе приводятся данные о том, что содержание кадмия в волосах повышается с возрастом [16]. Согласно результатам других исследователей между возрастом и накоплением кадмия и свинца в волосах нет однозначной связи. Например, изучение содержания этих химических элементов в волосах взрослых мужчин и женщин выявило, что наибольшие показатели имели лица в возрасте 25—44 лет,

наименьшие — в возрасте 45—65 или старше 65 лет [21]. В наших исследованиях также не было выявлено однозначной связи между содержанием кадмия и свинца в волосах обследуемых лиц и их возрастом. По содержанию кадмия наибольшие значения были выявлены в волосах детей, по содержанию свинца — в волосах взрослых. Наименьшее содержание изученных металлов было зарегистрировано в волосах новорожденных детей. Это согласуется с результатами исследований Г. Г. Горбатко, свидетельствующими о том, что постоянное проживание в медно-цинковой геохимической провинции формирует повышенное накопление в волосах беременных женщин кадмия, хрома, цинка, меди и никеля, но не обусловливает существенного повышения среднего содержания этих металлов в волосах новорожденных [3]. В то же время недостаточный объем выборки новорожденных в нашем исследовании не позволяет сделать однозначные выводы.

Учитывая особую опасность кадмия и свинца для здоровья человека, высокое содержание этих металлов у отдельных лиц следует считать настораживающим фактором, требующим мероприятий по снижению нагрузки этими поллютантами. Повышенный уровень токсичных элементов кадмия и свинца в волосах детей и подростков женского пола может в определенной степени свидетельствовать о риске развития заболеваний репродуктивной системы, как было выявлено в работе С. В. Нотовой с соавт., показавших, что у девочек и девушек с признаками нарушений репродуктивного здоровья имеются в наличии практически все токсичные элементы с преобладанием кадмия и свинца [7].

Сравнительный анализ распространенности превышения верхнего референсного уровня токсичных элементов выявил факт увеличения с возрастом числа лиц с повышенным содержанием кадмия и свинца в волосах, что может быть вызвано интенсивным поступлением этих элементов извне.

Выявленная тесная связь между уровнями изученных металлов в волосах может свидетельствовать о наличии общих источников поступления их в организм. Возможно, также существуют сходные механизмы взаимодействия этих металлов с кератином волос. Волосы человека состоят преимущественно из белков (65—95 %), воды (до 32 %), липидов, пигмента и микроэлементов, которые скоординированы с функциональными группами аминокислот белка или жирных кислот [25]. Таким образом, сильная корреляция между уровнем свинца и уровнем кадмия может быть результатом сходного химического взаимодействия этих двух металлов с кератином волос.

Заключение

Проживание в геохимической провинции на территории башкирского Зауралья накладывает отпечаток на элементный профиль населения. В частности, содержание в волосах токсичных микроэлементов кадмия и свинца, уровень которых в окружающей среде данной территории нередко повышен, у ряда лиц превышает средние значения РБ и ПФО. Особенно часто повышенное содержание кадмия встречается у взрослых мужчин, свинца — у девочек в возрасте от 1 года до 14 лет.

Содержание кадмия и свинца в волосах мужчин зауральской зоны РБ выше по сравнению с содержанием этих химических элементов в волосах женщин.

Распространенность превышения референсных значений в содержании токсичных элементов в волосах повышается с возрастом.

Таким образом, выявленные в результате проведенного исследования повышенные концентрации токсичных металлов в волосах ряда жителей зауральской зоны Башкортостана вызывают тревогу и диктуют необходимость усиления контроля над их концентрацией в атмосферном воздухе, почве, воде, продуктах питания и проведения мероприятий по снижению риска для здоровья населения.

Публикация подготовлена в рамках поддержанных РФФИ и Правительством Республики Башкортостан научных проектов №17-16-02002-ОГН ОГН-Р_УРАЛ-А и № 19-413-020003р_а.

Авторство

Рафикова Ю. С. участвовала в получении, анализе и интерпретации данных; Семенова И. Н. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, подготовила первый вариант статьи; Хасанова Р. Ф. участвовала в получении, анализе и интерпретации данных; Суюндуков Я. Т. являлся организатором экспедиций по сбору данных, принимал участие в разработке дизайна исследования.

Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Рафикова Юлия Самигулловна — ORCID 0000-0002-3281-803X; SPIN 9326-0342
Семенова Ирина Николаевна — ORCID 0000-0001-8213-6275; SPIN 1258-9113
Хасанова Резеда Фиргатовна — ORCID 0000-0002-8917-0561; SPIN 7574-1473
Суюндуков Ялиль Тухватович — ORCID 0000-0002-6257-6537; SPIN 9448-1209

Список литературы

1. *Агаджанян Н. А., Скальный А. В.* Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М.: КМК, 2001. 83 с.

2. *Бурцева Т. И., Михайлова Р. И., Скальный А. В.* Особенности элементного состава волос учащихся колледжей Оренбургского университета // Микроэлементы в медицине 2006. № 7 (2). С. 39—46.

3. *Горбатко Г. Г.* Содержание макро- и микроэлементов в биосубстратах системы «мать — плацента — новорожденный — ребенок» в регионе с развитой горнодобывающей промышленностью: автореф. дис.. канд. мед. наук. Уфа, 1999. 24 с.

4. *Грабеклис А. Р.* Половые, возрастные и эколого-географические различия в элементном составе волос у детей 7—14 лет, проживающих в различных регионах России: автореф. дис.. канд. биол. наук. Москва, 2009. 24 с.

5. *Загорский С. Э., Мельнов С. Б., Синевич Е. А.* Содержание токсичных элементов в волосах детей и под-

ростков с рефлюкс-эзофагитом // Медицинский журнал. 2012. № 3 (41). С. 55–61.

6. *Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгуряну Т. Н., Гудков А. Б.* Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9

7. *Нотова С. В., Малышева Н. В., Лебедев С. В., Губайдуллина С. Г.* О связи нарушений репродуктивного здоровья и элементного статуса // Вестник ОГУ. Приложение Биоэлементология. 2006. № 12. С. 190–193.

8. *Опекунова М. Г., Сомов С. С., Папян Э. Э.* Загрязнение почв в районе воздействия горнорудных предприятий Башкирского Зауралья // Почвоведение. 2017. № 6. С. 744–758.

9. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: материалы к государственному докладу. URL: http://02.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/766/gd_seb-rb_2017.pdf. (дата обращения: 16.07.2018)

10. *Рафикова Ю. С.* Микроэлементный статус населения г. Сибай в условиях техногенного загрязнения: автореф. дис.... канд. биол. наук. Тольятти, 2010. 28 с.

11. *Рафикова Ю. С., Семенова И. Н., Суюндуков Я. Т., Биктимерова Г. Я., Рафиков С. Ш.* Результаты биомониторинга микроэлементов у детей горнорудного региона Башкортостана // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 3. С. 245–250.

12. *Семенова И. Н., Ильбулова Г. Р.* Оценка загрязнения почвенного покрова г. Сибай Республики Башкортостан тяжелыми металлами // Фундаментальные исследования. 2011. № 8–3. С. 491–495.

13. *Скальная О. А., Скальная А. А., Демидов В. А., Живаев Н. Г.* Содержание химических элементов в волосах взрослых жителей округа Мименсингх, Народная Республика Бангладеш. Сообщение 1: токсичные микроэлементы (As, Be, Cd, Hg, Pb) // Микроэлементы в медицине. 2015. № 16 (3). С. 45–49.

14. *Скальный А. В., Березкина Е. С., Демидов В. А., Грабеклис А. Р., Скальная М. Г.* Эколого-физиологическая оценка элементного статуса взрослого населения Республики Башкортостан // Гигиена и санитария. 2016. № 95 (6). С. 533–538.

15. *Скальный А. В.* Микроэлементозы человека: диагностика и лечение. М.,1999. 96 с.

16. *Скальный А. В.* Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: ОНИКС 21 век, 2004. 216 с.

17. *Транковская Л. В., Лучанинова В. Н., Иванова Г. Г.* Особенности микроэлементного гомеостаза у детей с хроническими заболеваниями желудка и двенадцатиперстной кишки // Российский педиатрический журнал. 2003. № 5. С. 14–17.

18. *Шабельник Д. Я.* Зависимость между цветом волос, полом и содержанием микроэлементов в волосах // Судебно-медицинская экспертиза. 1966. № 1. С. 7–9.

19. *Ciarrocca M., Capozzella A., Tomei F., Tomei G., Caciari T.* Exposure to cadmium in male urban and rural workers and effects on FSH, LH and testosterone // Chemosphere. 2013. N 90 (7). P. 2077–2084.

20. *Jursa T., Stein C. R., Smith D. R.* Determinants of Hair Manganese, Lead, Cadmium and Arsenic Levels in Environmentally Exposed Children // Toxics. 2018. N 6. P. 19. Doi:10.3390/toxics6020019

21. *Kumakli H., Duncan A. V., McDaniel K., Mehari T. F., Stephenson J., Maple L., Crawford Z., Macemore C. L., Babyak C. M., Fakayode S. O.* Environmental biomonitoring of essential and toxic elements in human scalp hair using accelerated microwave-assisted sample digestion and inductively coupled plasma optical emission spectroscopy // Chemosphere. 2017. Vol. 174. P. 708–715. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.02.032.

22. *Maugh T. N.* Hair: a diagnostic tool to complement blood serum and urine // Science. 1978. N 202. P. 1271–1273.

23. *Piade J. J., Jaccard G., Dolka C., Belushkin M., Wajrock S.* Differences in cadmium transfer from tobacco to cigarette smoke, compared to arsenic or lead // Toxicology Reports. 2015. N 2. P. 12–26.

24. *Rani A., Kumar A., Lal A., Pant M.* Cellular mechanisms of cadmium-induced toxicity: a review // International Journal of Environmental Health Research. 2014. Vol. 24 (4). P. 378–399. Doi: 10.1080/09603123.2013.835032.

25. *Robbins C. R.* Chemical and Physcal Behavior of Human Hair, 5th ed.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2012. P. 105–176.

26. *Semenova I. N., Rafikova Yu. S., Khasanova R. F., Suyundukov Ya. T.* Analysis of metal content in soils near abandoned mines of Bashkir Trans Urals and in the hair of children living in this territory // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.2018. V. 50. P. 664–670. URL: https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.06.017.

27. *Semenova I. N., Rafikova Yu. S., Suyundukov Ya. T., Biktimerova G. Ya.* Regional peculiarities of microelement accumulation in objects in the Trans ural region of the Republic of Bashkortostan // In: Biogenic-Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems. Lecture Notes in Earth System Sciences. Switzerland. 2016. P. 179–187.

28. *Zaitseva I. P., Skalny A. A., Tinkov A. A., Berezkina E. S., Grabeklis A. R., Skalny A. V.* The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students // Biological Trace Elem. Res. 2014. Vol. 163 (1–2). P. 58–66. Doi:10.1007/s12011-014-0172-8.

References

1. Agadzhanyan N. A., Skalny A. V. *Khimicheskiye elementy v srede obitaniya i ekologicheskiy portret cheloveka* [Chemical elements in the environment and ecological portrait of a person]. Moscow, 2001, 83 p.

2. Burtseva T. I., Mikhailova R. I., Skalny A. V. Features of the elemental composition of the hair of students of colleges of the Orenburg University. *Mikroelementy v meditsine* [Trace elements in medicine]. 2006, 7 (2), pp. 39-46. [In Russian]

3. Gorbatko G. G. *Soderzhaniye makro- i mikroelementov v biosubstratakh sistemy «mat' - platsenta - novorozhdennyy - rebenok» v regione s razvitoy gornodobyvayushchey promyshlennost'yu. Avtoref. dis.* [The content of macro-and micronutrients in the biosubstrates of the mother-placenta-newborn-child system in a region with a developed mining industry. Author.'s Abstract of Diss.]. Ufa, 1999, 24 p.

4. Grabeklis A. R. *Polovyye, vozrastnyye i ekologo-geograficheskiye razlichiya v elementnom sostave volos u detey 7-14 let, prozhivayushchikh v razlichnykh regionakh Rossii. Avtoref. dis.* [Sex, age and ecological-geographical differences in the elemental composition of hair in children 7-14 years old, living in different regions of Russia. Author.'s Abstract of Diss.]. Moscow, 2009, 24 p.

5. Zagorsky S. E., Melnov S. B., Sinevich E. A.The content of toxic elements in the hair of children and adolescents with reflux esophagitis. *Meditsinskiy zhurnal* [Medical Journal]. 2012, 3 (41), pp. 55-61. [In Russian]

6. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]

7. Notova S. V., Malysheva N. V., Lebedev S. V., Gubaidullina S. G. Connections of reproductive health and elemental status. *Vestnik OGU* [Bulletin Orenburg State University]. Suppl. Bioelementology. 2006, 12, pp. 190-193. [In Russian]

8. Opekunova M. G., Somov S. S., Papyan E. E. Soil pollution in the area of impact of mining enterprises of the Bashkir Trans Ural. *Furasian Soil Science*. 2017, 6, p. 744-758. [In Russian]

9. *O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossiyskoy Federatsii v 2017 godu* [On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2017]. Materials for the state report. Available at: http://02.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/766/gd_seb-rb_2017.pdf. (accessed: 16.07.2018)

10. Rafikova Yu. S. *Mikroelementnyy status naseleniya g. Sibay v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya. Avtoref. kand. dis.* [The trace element status of the population of the city of Sibay in terms of man-made pollution. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Tolyatti, 2010, 28 p.

11. Rafikova Yu. S., Semenova I. N., Suyundukov Ya. T., Biktimerova G. Ya., Rafikov S. Sh. Results of biomonitoring of microelements in children of the mining region of Bashkortostan. *Gigiena i Sanitariya*. 2018, 97 (3), pp. 245-250. [In Russian]

12. Semenova I. N., Ilbulova G. R. Estimation of soil contamination in the city of Sibay with the Republic of Bashkortostan with heavy metals. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic Research]. 2011, 8-3, pp. 491-495. [In Russian]

13. Skalnaya O. A., Skalnaya A. A., Demidov V. A., Zhivaev N. G. Content of chemical elements in the hair of adult residents of Mymensingh County, People's Republic of Bangladesh Post 1: toxic trace elements (As, Be, Cd, Hg, Pb). *Mikroelementy v meditsine* [Trace elements in medicine]. 2015, 16 (3), pp. 45-49. [In Russian]

14. Skalny A. V., Berezkina E. S., Demidov V. A., Grabeklis A. R., Skalnaya M. G. Ecological and physiological assessment of the elemental status of the adult population of the Republic of Bashkortostan. *Gigiena i Sanitariya*. 2016, 95 (6), pp. 533-538. [In Russian]

15. Skalny A. V. *Mikroelementozy cheloveka: diagnostika i lecheniye* [Microelementoses in humans: diagnosis and treatment]. Moscow, 1999, 96 p.

16. Skalny A. V. *Khimicheskiye elementy v fiziologii i ekologii cheloveka* [Chemical elements in human physiology and ecology]. Moscow, ONIKS 21st Century Publ., 2004, 216 p.

17. Trankovskaya L. V., Luchaninova V. N., Ivanova G. G. Features of trace element homeostasis in children with chronic diseases of the stomach and duodenum. *Rossiiskii pediatricheskii zhurnal* [Russian journal of Pediatrics]. 2003, 5, pp. 14-17. [In Russian]

18. Shabelnik D. Ya. The relationship between hair color, sex and the content of trace elements in the hair. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza* [Forensic medical examination]. 1966, 1, pp. 7-9. [In Russian]

19. Ciarrocca M., Capozzella A., Tomei F., Tomei G., Caciari T. Exposure to cadmium in male urban and rural workers and effects on FSH, LH and testosterone. *Chemosphere*. 2013, 90 (7), pp. 2077-2084.

20. Jursa T., Stein C. R., Smith D. R. Determinants of Hair Manganese, Lead, Cadmium and Arsenic Levels in Environmentally Exposed Children. *Toxics*. 2018, 6, p. 19. Doi:10.3390/toxics6020019.

21. Kumakli H., Duncan A. V., McDaniel K., Mehari T. F., Stephenson J., Maple L., Crawford Z., Macemore C. L., Babyak C. M., Fakayode S. O. Environmental biomonitoring of essential and toxic elements in human scalp hair using accelerated microwave-assisted sample digestion and inductively coupled plasma optical emission spectroscopy. *Chemosphere*. 2017, 174, pp. 708-715. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.02.032.

22. Maugh T. N. Hair: a diagnostic tool to complement blood serum and urine. *Science*. 1978, 202, pp.1271-1273.

23. Piade J. J., Jaccard G., Dolka C., Belushkin M., Wajrock S. Differences in cadmium transfer from tobacco to cigarette smoke, compared to arsenic or lead. *Toxicology Reports*. 2015, 2, pp. 12-26.

24. Rani A., Kumar A., Lal A., Pant M. Cellular mechanisms of cadmium-induced toxicity: a review. *International Journal of Environmental Health Research*. 2014, 24 (4), pp. 378-399. Doi: 10.1080/09603123.2013.835032.

25. Robbins C. R. Chemical and Physical Behavior of Human Hair, 5th ed. Springer, Berlin/Heidelberg, Germany, 2012, pp. 105-176.

26. Semenova I. N., Rafikova Yu. S., Khasanova R. F., Suyundukov Ya. T. Analysis of metal content in soils near abandoned mines of Bashkir Trans Urals and in the hair of children living in this territory. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018, 50, pp. 664-670. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.06.017.

27. Semenova I. N., Rafikova Yu. S., Suyundukov Ya. T., Biktimerova G. Ya. Regional peculiarities of microelement accumulation in objects in the Trans ural region of the Republic of Bashkortostan. In: *Biogenic-Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems*. Lecture Notes in Earth System Sciences. Switzerland. 2016, pp. 179-187.

28. Zaitseva I. P., Skalny A. A., Tinkov A. A., Berezkina E. S., Grabeklis A. R., Skalny A. V. The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students. *Biological Trace Elem. Res*. 2014, 163 (1-2), pp. 58-66. Doi:10.1007/s12011-014-0172-8.

Контактная информация:

Семенова Ирина Николаевна — доктор биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории экологии и природопользования ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», Сибайский филиал; профессор кафедры естественных наук Сибайского института ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет»

Адрес: 453837, Республика Башкортостан, г. Сибай, ул. Кутузова, д. 1

E-mail: alexa-94@mail.ru