УДК 614.7:616-053.2(470.55)

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СТАТУС ДЕТЕЙ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2017 г. ¹С. В. Нотова, ²Г. Н. Киреева, ³Е. В. Жуковская, ⁴А. Р. Грабеклис, ¹Е. В. Кияева, ^{1, 5} А. В. Скальный, ⁶Л. Е. Дерягина

¹Оренбургский государственный университет, г. Оренбург; ²Челябинская областная детская клиническая больница, г. Челябинск; ³Федеральный научно-клинический центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева, г. Москва; ⁴Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, г. Ярославль; ⁵Российский университет дружбы народов, г. Москва; ⁶Московский университет МВД им. В. Я. Кикотя, г. Москва

Цель работы – изучить особенности элементного статуса детей Челябинской области, проживающих в населенных пунктах, сходных по геохимическим свойствам, но различных по уровню антропогенной нагрузки, и установить основной фактор обеспечения минерального обмена. Представлены результаты исследования уровня микроэлементов в образцах волос 235 учеников средних общеобразовательных учреждений в возрасте от 7 до 18 лет, проживающих на территории Челябинской области в населенных пунктах Варна, Карабаш, Томино, расположенных вблизи месторождений медно-порфировых руд и отличающихся давностью промышленной разработки полезных ископаемых. Элементный статус (40 химических элементов) оценивали методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой в Центре биотической медицины (г. Москва). Статистическая обработка результатов проведена с использованием программы STATISTICA 8.0. Установлено, что независимо от места проживания для обследованных детей характерен дефицит Se, Co, Cr, что, вероятно, связано с геохимическими особенностями территории проживания. Наибольшее влияние на элементный статус оказал уровень антропогенной нагрузки. Так, у испытуемых из г. Карабаш выявлено значительное превышение рекомендуемых значений содержания в волосах As и Pb и максимальное по сравнению с другими населенными пунктами содержание Cd, Be, Tl, Ba, Ag, Ni, Sn и Sb. Дети из Карабаша отличаются низкой концентрацией в волосах основных остеотропных химических элементов – Ca, Mg, P, B, Sr. Больше накопление в волосах детей из Карабаша Cu и Ni согласуется с экологической обстановкой в населенном пункте, обусловленной выбросами Карабашского медеплавильного комбината.

Ключевые слова: экология, элементный статус, микроэлементы, адаптация, дети

THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENOUS AND GEOCHEMICAL ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE ELEMENTARY STATUS OF CHILDREN OF CHELYABINSK REGION

¹S. V. Notova, ²G. N. Kireeva, ³E. V. Zhukovskaya, ⁴A. R. Grabeklis, ¹E. V. Kiyeva, ^{1, 5}A. V. Skalny, ⁶L. E. Deryagina

¹Orenburg State University, Orenburg; ²Chelyabinsk Regional Children's Hospital, Chelyabinsk; ³Dmitry Rogachyov Federal Scientific Clinical Children's Center of Hematology, Oncology and Immunology, Moscow; ⁴P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl; ⁵Peoples' Friendship University of Russia, Moscow; ⁶Kikot Moscow University of the Ministry of the Interior of Russia, Moscow, Russia

The purpose of the work is to study the peculiarities of the elementary status of the children of Chelyabinsk region, living in the settlements similar in geochemical features, but various in the level of anthropogenic load and determine a major factor of mineral metabolism provision. The results of the study of hair trace elements content in 235 pupils of secondary school aged from 7 till 18 years are presented. All of them lived in the towns: Varna, Karabash and Tomino (Chelyabinsk region), located near the copper-porphyrus ores, where commercial development of minerals was carrying out for a long time. The elementary status (40 chemical elements) was estimated by methods ICP-AS and ICP-MS in the Center of Biotic medicine (Moscow). Statistical processing of the results was carried using a program STATISTICA 8.0. It was established that irrespective of the place of residence for the examined children the deficiency of Se, Co, Cr was revealed, that was probably bounded to geochemical features of the territory of accommodation. The greatest impact on the elementary status was exerted by the level of anthropogenic loading. Children from Karabash had considerable excess of the recommended As and Pb values content in the hair; also they had the maximal, in comparison with other settlements, hair Cd, Be, Tl, Ba, Ag, Ni, Sn and Sb content. Children from this settlement had low Ca, Mg, P, B, Sr (the main osteotropic chemical elements) content in hair. Larger accumulation of Cu and Ni in hair of children from Karabash was connected with the ecological situation in the settlement and caused by emissions of Karabash copper-smelting plant.

Keywords: ecology, elementary status, trace elements, adaptation, children

Библиографическая ссылка:

Нотова С. В., Киреева Г. Н., Жуковская Е. В., Грабеклис А. Р., Кияева Е. В., Скальный А. В., Дерягина Л. Е. Влияние антропогенных и геохимических факторов среды обитания на элементный статус детей Челябинской области // Экология человека. 2017. № 11. С. 23–28.

Notova S. V., Kireeva G. N., Zhukovskaya E. V., Grabeklis A. R., Kiyeva E. V., Skalny A. V., Deryagina L. E. The Influence of Anthropogenous and Geochemical Environmental Factors on the Elementary Status of Children of Chelyabinsk Region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 11, pp. 23-28.

Оценка неблагоприятных факторов среды обитания по биологическим ответам организма человека более объективна, чем сопоставление концентрации отдельных загрязнителей с гигиеническими нормами, так как интегрально учитывает воздействие всех, в том числе неидентифицированных загрязнителей. Согласно многочисленным исследованиям [1, 9], элементный состав организма отражает геохимический фон среды обитания и уровень антропогенной нагрузки. В условиях определенных пределов изменчивости геохимической среды организм может регулировать функции через компенсаторно-адаптивные изменения метаболизма [2, 4, 5]. Чрезмерные природно-антропогенно обусловленные дефициты и избытки химических элементов неизбежно приводят к возникновению экологозависимых заболеваний [2, 3, 11, 12].

В пределах Челябинской области сосредоточена значительная доля полезных ископаемых Урала: руды черных и цветных металлов, уголь, химическое сырье, разнообразные строительные материалы и камни-самоцветы. Медные руды на территории области в горнозаводской ее части и восточных предгорьях добывались повсеместно с глубокой древности. Одно из старейших месторождений находится около города Карабаш, который на протяжении более 100 лет является одним из крупнейших медеплавильных центров России. При производстве Cu из медной руды образуется большое количество вредных веществ, в основном газов, таких, например, как производные Pb, S, As и, собственно, Cu. Вследствие этого общий вес выбросов за полный период работы заводов составил более 14 миллионов тонн [13]. В 15 км от населенного пункта Варна расположено Михеевское месторождение медно-порфировых руд и Михеевский горно-обогатительный комбинат (ГОК), функционирующий с 2013 года. Кроме Cu промышленное значение имеют Au, Mo, Re, Ag. Поселок Томино также расположен рядом с одним из крупнейших месторождений медно-порфировых руд в России. Медно-порфировые руды Томинского месторождения содержат также Au и Ag. Предполагается, что первая очередь Томинского ГОК будет запущена в 2017 году.

Таким образом, выбранные населенные пункты сходны по геохимическим особенностям территории, обусловленным присутствием медной руды, и различны по уровню антропогенной нагрузки, связанному с различной давностью разработки месторождений. Поэтому актуальным является изучение элементного статуса детей, проживающих на этих территориях Челябинской области, что и стало целью нашего исследования.

Методы

Исследованы образцы волос 235 учеников средних общеобразовательных учреждений в возрасте от 7 до 18 лет, проживающих на территории Челябинской области в населенных пунктах Варна ($n = 75$), Карабаш ($n = 114$), Томино ($n = 46$), на содержание макро- и микроэлементов. От всех обследованных лиц и их родителей получено информированное согласие на участие в эксперименте. Этические принципы исследования соответствуют положениям Хельсинкской декларации

1975 г. и ее пересмотру 1983 г. Элементный состав волос изучался методами атомно-эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой в Центре биотической медицины (г. Москва). Определено содержание 40 химических элементов. Анализ содержания биоэлементов проведен на основании межгруппового сравнения их медиан, расчета центильных интервалов и сопоставления их со средними значениями концентрации данных химических элементов в волосах (25–75 центильный интервал), полученными при проведении популяционных исследований в различных регионах России [10].

Подготовку к обработке первичных данных и последующий статистический анализ осуществляли с применением пакета программных приложений Microsoft Excel XP (Microsoft Corp., USA) и интегрированного пакета статистических программ STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc., USA). При математической обработке результатов исследования использовали методы непараметрической статистики. Параметры описательной статистики для количественных показателей приведены в виде медианы (Me) и интерквартильной широты (25-й; 75-й процентиля — q_{25} ; q_{75}). Сравнение выборок проводили с использованием U-критерия Манна – Уитни, критерия χ^2 и анализа вариаций по методу Краскела – Уоллиса.

Результаты

В табл. 1 и 2 приведены данные о содержании макро- и микроэлементов в образцах волос детей, проживающих в исследованных населенных пунктах.

При сравнении полученных данных со среднероссийскими значениями выявлены существенные отличия по целому ряду элементов. Для всех обследованных детей независимо от пола и места проживания характерно низкое содержание в волосах Al (значения медианы в 1,5–4,5 раза ниже среднероссийского q_{25}) и Se (q_{75} в среднем по группам в 2,8 раза ниже среднероссийского q_{25}). Для большинства групп испытуемых были отмечены дефицитные значения Co (кроме девочек из Томино) и Cr (кроме мальчиков из Томино). У девочек из Варны и Томино выявлено повышенное содержание в волосах Mg. Для детей из Карабаша были характерны значительно повышенные значения содержания As (q_{25} в 1,6 раза выше среднероссийского q_{75}), Pb (значения медианы в 1,6 раза выше среднероссийского q_{75}) и дефицит Ca, наиболее выраженный у мальчиков.

При сравнении элементного статуса детей, проживающих в различных населенных пунктах, обнаружено, что дети из Карабаша отличаются повышенным содержанием большинства из определявшихся в волосах химических элементов. Так, у девочек и мальчиков выявлены максимальные для трех населенных пунктов значения содержания токсикантов As, Pb, Cd, Be, Tl, Ba, а также Ag, Ni, Sn, Sb на фоне минимального значения Hg. При этом следует отметить, что различия по As, Be, Ba, Cd, Pb, Sb, Sn и Ni для детей из Карабаша статистически значимы по отношению к данным и по Варне, и по Томино. У девочек из Карабаша также было значимо более

Таблица 1

Содержание химических элементов в волосах девочек, проживающих на территории населенных пунктов Карабаш, Томино и Варна, мг/кг

Элемент	Варна n = 40	Карабаш n = 69	Томино n = 19	Значимость отличий (p)		
				В/Т	В/К	Т/К
Ag	0,15 (0,08–1,04)	0,27 (0,14–1)	0,14 (0,05–0,47)	0,408	0,178	0,108
Al	5,92 (4,56–7,97)	6,56 (4,6–9,16)	5,07 (3,72–5,76)	0,167	0,237	0,023
As	0,047 (0,034–0,067)	1,94 (1,13–3,01)	0,056 (0,035–0,085)	0,426	<0,001	<0,001
Au	0,056 (0,029–0,096)	0,115 (0,052–0,226)	0,055 (0,021–0,109)	0,820	<0,001	<0,001
B	0,85 (0,56–1,15)	0,38 (0,19–0,64)	0,45 (0,35–0,64)	<0,001	<0,001	0,303
Ba	0,71 (0,51–0,93)	0,74 (0,55–1,03)	0,43 (0,27–0,69)	0,009	0,323	0,001
Be	0,0006 (0,0005–0,0008)	0,0012 (0,0008–0,0015)	0,001 (0,0006–0,0024)	0,003	<0,001	0,811
Bi	0,026 (0,019–0,053)	0,039 (0,028–0,068)	0,053 (0,036–0,089)	0,001	0,003	0,082
Ca	688 (552–1282)	276 (216–384)	1595 (779–1985)	0,051	<0,001	<0,001
Cd	0,049 (0,028–0,072)	0,114 (0,074–0,179)	0,042 (0,022–0,059)	0,495	<0,001	<0,001
Co	0,015 (0,012–0,024)	0,016 (0,013–0,024)	0,058 (0,015–0,156)	0,003	0,537	0,001
Cr	0,169 (0,12–0,206)	0,147 (0,104–0,217)	0,253 (0,153–0,358)	0,014	0,279	0,001
Cu	7,93 (6,7–9,14)	11,5 (9,43–13,9)	9,18 (6,94–10,75)	0,194	<0,001	0,006
Fe	13,4 (10,6–17,6)	16,05 (10,6–20,93)	11,3 (10,1–18,3)	0,455	0,210	0,112
Ga	0,003 (0,0016–0,005)	0,008 (0,0066–0,01)	0,0073 (0,006–0,009)	<0,001	<0,001	0,325
Ge	0,005 (0,002–0,01)	0,002 (0,002–0,014)	0,002 (0,002–0,002)	0,001	0,897	0,010
Hg	0,23 (0,16–0,36)	0,19 (0,14–0,27)	0,24 (0,13–0,3)	0,389	0,033	0,513
I	0,94 (0,61–1,48)	2 (0,85–4,13)	4,38 (2,3–9,58)	<0,001	0,003	0,003
K	439 (189–1209)	311 (140–628)	188 (119–366)	0,026	0,062	0,245
La	0,007 (0,005–0,009)	0,013 (0,01–0,023)	0,011 (0,007–0,028)	0,004	<0,001	0,249
Li	0,025 (0,016–0,034)	0,01 (0,006–0,019)	0,015 (0,012–0,027)	0,005	<0,001	0,024
Mg	154 (107–267)	39 (27–53)	158 (86–220)	0,795	<0,001	<0,001
Mn	0,58 (0,48–0,95)	0,76 (0,54–1,06)	0,63 (0,37–1)	0,807	0,061	0,105
Mo	0,032 (0,028–0,038)	0,029 (0,023–0,036)	0,029 (0,025–0,038)	0,263	0,059	0,703
Na	500 (231–797)	277 (138–631)	273 (159–622)	0,055	0,010	0,741
Ni	0,23 (0,16–0,32)	0,4 (0,3–0,58)	0,28 (0,2–0,52)	0,094	<0,001	0,041
P	144 (133–157)	136 (123–154)	141 (128–154)	0,417	0,0536	0,449
Pb	1,27 (0,93–2,69)	6,89 (3,93–13,17)	1,27 (0,67–2,92)	0,649	<0,001	<0,001
Pt	0,0002 (0,0001–0,0002)	0,0003 (0,0002–0,0006)	0,0003 (0,0002–0,0006)	0,010	<0,001	0,815
Rb	0,288 (0,12–0,699)	0,257 (0,122–0,465)	0,142 (0,081–0,283)	0,015	0,265	0,058
Sb	0,037 (0,019–0,049)	0,094 (0,07–0,161)	0,021 (0,017–0,035)	0,123	<0,001	<0,001
Se	0,242 (0,211–0,286)	0,215 (0,176–0,269)	0,21 (0,171–0,225)	0,001	0,041	0,229
Si	23,11 (13,68–46,34)	14,28 (8,51–27,58)	14,52 (12,02–32,67)	0,066	0,002	0,601
Sn	0,2 (0,15–0,29)	0,28 (0,21–0,44)	0,17 (0,09–0,23)	0,131	<0,001	<0,001
Sr	3,48 (2,52–6,57)	0,79 (0,54–1,13)	3,5 (2,08–4,6)	0,495	<0,001	<0,001
Tl	0,0005 (0,0003–0,001)	0,0013 (0,0009–0,002)	0,0008 (0,0006–0,002)	0,003	<0,001	0,095
V	0,03 (0,019–0,042)	0,018 (0,013–0,024)	0,018 (0,014–0,03)	0,022	<0,001	0,590
W	0,006 (0,004–0,009)	0,006 (0,004–0,009)	0,008 (0,004–0,016)	0,111	0,606	0,050
Zn	154 (129–178)	159 (130–202)	153 (134–212)	0,495	0,410	0,875
Zr	0,09 (0,06–0,21)	0,08 (0,05–0,14)	0,07 (0,05–0,1)	0,284	0,193	0,711

Примечания для табл. 1 и 2: данные представлены в виде Me (q25–q75), где Me – медиана, q25 – нижний квартиль, q75 – верхний квартиль; В – Варна, Т – Томино, К – Карабаш.

высокое содержание Au в волосах по отношению к двум другим населенным территориям, Al – по отношению к Томино и Ga – по отношению к Варне.

Обращает на себя внимание статистически значимо более низкое содержание в волосах детей из Карабаша макроэлементов Ca (в 3–5 раз у девочек, в 2 раза у мальчиков), Mg (более чем в 2 раза), микроэлемента Li. В группе мальчиков зафиксировано также значимо более низкое содержание P (в 1,2 раза), Sr (в 2,8–4,6 раза) и В

(в 1,3–2,3 раза). Для детей из Карабаша характерны большие значения содержания в волосах Cu ($p < 0,01$) и Ni ($p < 0,05$).

К особенностям элементного состава волос детей из поселка Варна можно отнести более высокие статистически значимые уровни В, Li (у всех), V, Se (у девочек), Mg (у мальчиков) и пониженный уровень токсикантов Be, Ga, La, эссенциальных микроэлементов Cu, I, причем у девочек уровень Cu снижен только по сравнению с данными Карабаша.

Таблица 2

Содержание химических элементов в волосах мальчиков, проживающих на территории населенных пунктов Карабаш, Томино и Варна, мг/кг

Элемент	Варна n = 35	Карабаш n = 45	Томино n = 27	Значимость отличий (p)		
				В/Т	В/К	Т/К
Ag	0,06 (0,04–0,2)	0,07 (0,03–0,21)	0,05 (0,03–0,14)	0,303	0,980	0,314
Al	5,48 (4,1–7,87)	6,02 (4,1–8,04)	5,82 (4,31–9,29)	0,555	0,980	0,518
As	0,048 (0,032–0,076)	2,058 (1,078–3,684)	0,069 (0,053–0,093)	0,008	<0,001	<0,001
Au	0,024 (0,015–0,042)	0,019 (0,011–0,047)	0,015 (0,012–0,028)	0,023	0,344	0,392
B	1,33 (0,77–2)	0,59 (0,22–0,68)	0,74 (0,54–1,17)	0,001	<0,001	0,006
Ba	0,37 (0,26–0,55)	0,42 (0,3–0,63)	0,34 (0,24–0,44)	0,166	0,482	0,046
Be	0,0006 (0,0001–0,0008)	0,0009 (0,0006–0,0011)	0,0008 (0,0005–0,0013)	0,007	<0,001	0,666
Bi	0,022 (0,015–0,034)	0,029 (0,019–0,042)	0,033 (0,024–0,045)	0,014	0,061	0,511
Ca	360 (279–524)	158 (124–228)	344 (285–419)	0,848	<0,001	<0,001
Cd	0,044 (0,019–0,082)	0,082 (0,037–0,194)	0,038 (0,03–0,061)	0,728	0,002	0,001
Co	0,011 (0,008–0,017)	0,012 (0,009–0,018)	0,017 (0,011–0,024)	0,013	0,631	0,025
Cr	0,116 (0,078–0,163)	0,137 (0,102–0,212)	0,278 (0,191–0,41)	<0,001	0,209	<0,001
Cu	7,24 (6,48–7,96)	9,95 (8,32–12,9)	7,94 (7,26–9,39)	0,018	<0,001	<0,001
Fe	11,5 (9,43–21,4)	13,4 (10,2–16,3)	15,5 (9,92–21,4)	0,374	0,812	0,266
Ga	0,005 (0,0033–0,0065)	0,0084 (0,0062–0,0108)	0,0084 (0,0058–0,0122)	<0,001	<0,001	0,986
Ge	0,002 (0,002–0,007)	0,002 (0,002–0,006)	0,002 (0,002–0,002)	0,012	0,528	0,053
Hg	0,23 (0,1–0,33)	0,15 (0,09–0,29)	0,18 (0,11–0,25)	0,209	0,112	0,392
I	0,65 (0,4–1,04)	1,41 (0,57–3,59)	3,32 (1,7–6,9)	<0,001	0,006	0,010
K	346 (95–730)	218 (104–485)	340 (107–643)	0,665	0,182	0,439
La	0,006 (0,004–0,014)	0,011 (0,008–0,025)	0,041 (0,011–0,15)	<0,001	<0,001	0,005
Li	0,03 (0,017–0,042)	0,009 (0,004–0,013)	0,02 (0,01–0,031)	0,015	<0,001	<0,001
Mg	50 (37–99)	20 (17–32)	41 (32–50)	0,029	<0,001	<0,001
Mn	0,44 (0,27–0,74)	0,42 (0,26–0,67)	0,52 (0,36–0,71)	0,728	0,538	0,303
Mo	0,032 (0,027–0,036)	0,029 (0,025–0,04)	0,032 (0,029–0,036)	0,803	0,446	0,405
Na	463 (192–944)	219 (63–467)	474 (158–962)	0,971	0,003	0,010
Ni	0,16 (0,09–0,2)	0,23 (0,19–0,33)	0,16 (0,13–0,24)	0,482	<0,001	<0,001
P	169 (147–186)	144 (131–165)	173 (158–188)	0,430	<0,001	<0,001
Pb	1 (0,39–2,13)	4,34 (2,47–10,35)	1,4 (0,46–2,17)	0,439	<0,001	<0,001
Pt	0 (0–0,0001)	0,0001 (0,0001–0,0003)	0,0002 (0,0001–0,0002)	<0,001	<0,001	0,470
Rb	0,277 (0,059–0,547)	0,15 (0,079–0,35)	0,234 (0,082–0,5)	0,825	0,231	0,549
Sb	0,025 (0,019–0,038)	0,084 (0,051–0,146)	0,031 (0,022–0,052)	0,092	<0,001	<0,001
Se	0,208 (0,158–0,248)	0,189 (0,146–0,221)	0,156 (0,145–0,178)	0,001	0,279	0,031
Si	29,1 (16,4–42,3)	14,9 (7,7–19,8)	26,9 (20,8–52,9)	0,892	<0,001	<0,001
Sn	0,1 (0,06–0,17)	0,17 (0,1–0,24)	0,08 (0,04–0,1)	0,015	0,005	<0,001
Sr	1,34 (0,83–2,43)	0,29 (0,2–0,45)	0,8 (0,67–1,03)	0,001	<0,001	<0,001
Tl	0,0004 (0,0003–0,001)	0,0014 (0,0008–0,003)	0,0006 (0,0005–0,001)	0,012	<0,001	0,001
V	0,018 (0,013–0,029)	0,014 (0,009–0,022)	0,019 (0,012–0,029)	0,825	0,063	0,182
W	0,004 (0,003–0,006)	0,003 (0,002–0,006)	0,006 (0,004–0,009)	0,029	0,234	0,003
Zn	161 (123–197)	155 (134–178)	161 (142–202)	0,644	0,965	0,432
Zr	0,11 (0,06–0,19)	0,07 (0,03–0,12)	0,08 (0,05–0,13)	0,047	0,021	0,541

Отличительными свойствами детей из Томино являются максимальные уровни в волосах W, Bi, жизненно важных элементов Ca (девочки), I, Cr, Co (все дети), минимальные уровни Se (мальчики), Ba (девочки).

Обсуждение результатов

В настоящее время наиболее широко используемым является центильный метод оценки элементного состава биосубстратов человека. При этом интервал от 25 до 75 центиля, как соответствующий средним значениям содержания данного химического элемента в популяции, сопоставляется с «нормой». Значения,

лежащие в интервале до 25 и выше 75 центиля, рассматриваются как отклонения, соответствующие состоянию «предболезни» и болезни [7].

Сравнение данных анализа волос детей Челябинской области со среднероссийскими значениями выявило выраженный дефицит Se. Наибольшие значения верхнего квартиля (q75) содержания Se в волосах соответствовали 0,286 мг/кг, в то время как среднероссийские значения нижнего квартиля (q25) составляют 0,65 мг/кг, что говорит о грубом дефиците этого жизненно необходимого элемента у подавляющего большинства испытуемых. Значения

региональной интерквартильной широты (q25–q75) уровня Se в соседней, также относящейся к южно-уральскому региону, Оренбургской области составляют 0,20–0,42 мг/кг и свидетельствуют о гипоселенозе. Однако полученные нами результаты говорят о том, что у обследованных детей дефицит Se более выражен. По данным исследований F. Yu с соавторами [24], уровень Se в волосах в диапазоне от 1,08 до 3,50 мг/кг является одним из восьми факторов риска болезни Кашина – Бека.

Практически для всех групп обследованных детей был характерен дефицит Co и Cr. Кобальт – необходимая составляющая витамина B₁₂, он играет важную роль в формировании аминокислот и белков миелиновых оболочек, создании нейромедиаторов, соли Co стимулируют синтез эритропоэтина [14, 21–23]. Хром участвует в регуляции синтеза жиров, обмене углеводов, способствует выведению из организма токсинов, солей тяжёлых металлов [8, 20]. Дефицит этих важнейших элементов может быть причиной снижения адаптационных возможностей организма и возникновения заболеваний.

Как показали результаты эксперимента, дети, проживающие в Карабаше, наряду с характерным для всех обследованных дефицитом эссенциальных элементов испытывают повышенную нагрузку комплексом токсичных, потенциально токсичных металлов и As по сравнению со сверстниками из других населенных пунктов. При этом мальчики в большей степени страдают от избытков As, Cd, Tl, а девочки – от избытка Pb. Содержание в волосах испытуемых из Карабаша As и Pb выше по сравнению не только с показателями детей из других населенных пунктов, но и с рекомендуемыми среднероссийскими значениями. Мышьяк – известное канцерогенное вещество, имеющее определенные различия в метаболизме у детей и взрослых [19, 23]. Исследования последних лет выявили, что основным механизмом токсического действия As и возникновения мышьяк-индуцированных заболеваний является повреждение митохондрий, приводящее к подавлению ферментов, участвующих в метаболизме энергии [15, 16]. Известно, что As увеличивает выведение Se [6], и этим можно было бы объяснить дефицит Se у детей Карабаша. Однако в нашем исследовании у детей из Варны и Томино гипоселеноз не сочетался с избытком As. Поэтому наиболее вероятной причиной выявленного дефицита Se являются геохимические особенности территории проживания.

У испытуемых из Карабаша было отмечено избыточное содержание Pb по сравнению со среднероссийским интерквартильным интервалом (q25–q75 = 0,76–2,73 мг/кг). Учитывая, что токсическое действие Pb связано с ингибированием активности ряда ферментов, усилением выработки активных форм кислорода и истощением антиоксидантных молекул [18], особенно неблагоприятным является сочетание его избыточного содержания с дефицитом Se.

Дети из Карабаша отличаются также очень низким содержанием в волосах основных остеотропных химических элементов – Ca, Mg, P, B, Sr, которые, как известно, являются антагонистами тяжелых металлов, накапливающихся в костной ткани, таких как Pb, Cd,

а P – антагонист As [6, 17]. Большое накопление Cu и Ni в волосах согласуется с экологической обстановкой в населенном пункте, обусловленной выбросами Карабашского медеплавильного комбината.

Таким образом, элементный состав волос испытуемых из Карабаша имеет много выраженных отличий от показателей детей, проживающих в Варне и Томино. В целом эти отличия заключаются в сочетании выраженного токсического полигиперэлементоза на фоне дефицита макро- и микроэлементов, играющих важнейшую роль в организме человека и, в частности, объединенных способностью положительно влиять на систему антиоксидантной защиты и морфофункциональные параметры костной ткани.

Следовательно, несмотря на близость расположения друг к другу, все изучаемые населенные пункты Челябинской области существенно различаются по показателям элементного состава волос детей, проживающих на данных территориях, что, вероятнее всего, связано с высокой антропогенной нагрузкой в результате производственной деятельности Карабашского медеплавильного комбината.

Работа выполнена при поддержке проекта № 544 в рамках госзадания вузу 2014/258 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Авцын А. П., Жворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. М.: Медицина, 1991. 496 с.
2. Агаджанян Н. А., Скальный А. В., Детков В. Ю. Элементный портрет человека: заболеваемость, демография и проблема управления здоровьем нации // Экология человека. 2013. № 11. С. 3–12.
3. Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгуриян Т. Н., Гудков А. Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.
4. Никанов А. Н., Кривошеев Ю. К., Гудков А. Б. Влияние морской капусты и напитка «Альгапект» на минеральный состав крови у детей – жителей г. Мончегорска // Экология человека. 2004. № 2. С. 30–32.
5. Никитин Ю. П., Хаснулин В. И., Гудков А. Б. Современные проблемы северной медицины и усилия учёных по их решению // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2014. № 3. С. 63–72.
6. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов. СПб., 2008. 544 с.
7. Скальная М. Г., Демидов В. А., Скальный А. В. О пределах физиологического (нормального) содержания Ca, Mg, P, Fe, Zn и Cu в волосах человека // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4, № 2. С. 5–10.
8. Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. М.: ОНИКС 21 век, Мир, 2004. 272 с.
9. Скальный А. В. Развитие концепции биоэлементов и перспективы биоэлементологии // Микроэлементы в медицине. 2009. Т. 10, № 3–4. С. 1–6.
10. Скальный А. В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО «Центр биотической медицины») // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4, № 1. С. 55–56.
11. Соколова Л. А., Попова О. Н., Калинина М. М., Богданов М. Ю., Кочешова Г. Ф., Гудков А. Б. Прогнозирование риска развития профессиональных заболеваний

среди сборщиков корпусов металлических судов машиностроительного предприятия // Экология человека. 2015. № 1. С. 10–14.

12. Сусликов В. Л. Геохимическая экология болезней. В 4 т. Т. 2. Атомовиты. М.: Гелиос АРВ, 2000. 672 с.

13. Тресков В. Д., Шарифуллина Л. Р. Экологические проблемы г. Карабаш // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 108.

14. Czarnek K., Terpilowska S., Siwicki A. K. Selected aspects of the action of cobalt ions in the human body // Central European Journal of Immunology. 2015. N 2. P. 236–242.

15. Lin T. Y., Wei C. C., Huang C. W., Chang C. H., Hsu F. L., Liao V. H.-C. Both phosphorus fertilizers and indigenous bacteria enhance arsenic release into groundwater in arsenic-contaminated aquifers // Journal Agricultural and Food Chemistry. 2016. N 64. P. 2214–2222.

16. Löveborn H. S., Kippler M., Lu Y., Ahmed S., Kuehnelt D., Raqib R., Vahter M. Arsenic metabolism in children differs from that in adults // Toxicological Sciences. 2016. N 152. P. 29–39.

17. Luz A. L., Godebo T. R., Bhatt D. P., Ilkayeva O. R., Maurer L. L., Hirschey M. D., Meyer J. N. Arsenite uncouples mitochondrial respiration and induces a Warburg-like effect in *Caenorhabditis Elegans* // Toxicological Sciences. 2016. N 152. P. 1–14.

18. Mertz W. Trace elements in human and animal nutrition. New York: Academic Press, 1986. 499 p.

19. Moore G. J., Bechuk J. M., Wilds I. B., Chen G., Menji H. K. Lithium-induced increase in human brain grey matter // The Lancet. 2000. Vol. 356, N 9237. P. 1241–1242.

20. Oberleas D., Harland B. F., Bobilya D. J. Minerals: nutrition and metabolism. NY: Vantage Press, 1999. P. 149–155.

21. Simonsen L. O., Brown A. M., Harbak H., Kristensen B. I., Bennekou P. Cobalt uptake and binding in human red blood cells // Blood Cells, Molecules, and Diseases. 2011. Vol. 46, N 4. P. 266–276.

22. Simonsen L. O., Harbak H., Bennekou P. Cobalt metabolism and toxicology - a brief update // Science of the Total Environment. 2012. N 432. P. 210–215.

23. Vladeva S. V., Terzieva D. D., Arabadjiiska D. T. Effect of chromium on the insulin resistance in patients with type II diabetes mellitus // Folia Med (Plovdiv). 2005. Vol. 47. P. 59–62.

24. Yu F. F., Liu H., Guo X. Integrative multivariate logistic regression analysis of risk factors for Kashin-Beck disease // Biological Trace Element Research. 2016. April. P. 1–6.

References

1. Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Rish M. A., Strohokova L. S. *Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya* [Human microelementoses: etiology, classification, organopathology.] Moscow, 1991, 496 p.

2. Agadzhanian N. A., Skalny A. V., Detkov V. Yu. The element portrait of the person: incidence, demography and problem of management of health of the nation. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 11, pp. 3-12. [in Russian]

3. 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]

4. Nikanov A. N., Krivosheev U. K., Gudkov A. B. Influence of laminaria and the drink "Algapekt" on blood mineral composition in children - residents of Monchegorsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 2, pp. 30-32. [in Russian].

5. Nikitin Yu. P., Khasnulin V. I., Gudkov A. B. Contemporary problems of Northern medicine and researchers' efforts to solve them. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta*. 2014, 3, pp. 63-72. [in Russian]

6. Oberleas D., Kharland B., Skal'nyi A. *Biologicheskaya rol' makro- i mikroelementov* [The biological role of macro- and micronutrients]. Saint Petersburg, 2008, 544 p.

7. Skalnaya M. G., Demidov V. A., Skal'nyi A. V. About limits of physiological (normal) maintenance of Ca, Mg, P, Fe, Zn and Cu in the human hair. *Mikroelementy v meditsine*. 2003, 4 (2), pp. 5-10. [in Russian]

8. Skalny A. V., Rudakov I. A. *Bioelementy v meditsine* [Bioelements in medicine]. Moscow, 2004, 272 p.

9. Skalny A. V. The development of the concept of bioelements and prospects of bioelementologiya. *Mikroelementy v meditsine*. 2009, 10 (4), pp. 1-6. [in Russian]

10. Skalny A. V. The reference values of the concentration of chemical elements in hair obtained by ICP-AES. *Mikroelementy v meditsine*. 2003, 4 (1), pp. 55-56. [in Russian]

11. Sokolova L. A., Popova O. N., Kalinina M. M., Bogdanov M. Yu., Kocheshova G. F., Gudkov A. B. Predicting the risk of occupational diseases among the collectors metal housings ships machine-building enterprise. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 1, pp. 10-14. [in Russian]

12. Suslikov V. L. *Geokhimicheskaya ekologiya boleznei* [Geochemical ecology of diseases]. Vol. 2. Moscow, 2000, 672 p.

13. Treskov V. D., Sharifullina L. R. Environmental problems of the city of Karabash. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2014, 5-2, p. 108. [in Russian]

14. Czarnek K., Terpilowska S., Siwicki A. K. *Central European Journal of Immunology*. 2015, 2, pp. 236-242.

15. Lin T. Y., Wei C. C., Huang C. W., Chang C. H., Hsu F. L., Liao V. H.-C. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 2016, 64, pp. 2214-2222.

16. Löveborn H. S., Kippler M., Lu Y., Ahmed S., Kuehnelt D., Raqib R., Vahter M. *Toxicological Sciences*. 2016, 152, pp. 29-39.

17. Luz A. L., Godebo T. R., Bhatt D. P., Ilkayeva O. R., Maurer L. L., Hirschey M. D., Meyer J. N. *Toxicological Sciences*. 2016, 152, pp. 1-14.

18. Mertz W. Trace elements in human and animal nutrition. NY, Academic Press, 1986, 499 c.

19. Moore G. J., Bechuk J. M., Wilds I. B., Chen G., Menji H. K. *The Lancet*. 2000, 356 (9237), pp. 1241-1242.

20. Oberleas D., Harland B. F., Bobilya D. J. Minerals: nutrition and metabolism. NY, Vantage Press, 1999, pp. 149-155.

21. Simonsen L. O., Brown A. M., Harbak H., Kristensen B. I., Bennekou P. *Blood Cells, Molecules, and Diseases*. 2011, 46 (4), pp. 266-276.

22. Simonsen L. O., Harbak H., Bennekou P. *Science of the Total Environment*. 2012, 432, pp. 210-215.

23. Vladeva S. V., Terzieva D. D., Arabadjiiska D. T. *Folia Med (Plovdiv)*. 2005, 47, pp. 59-62.

24. Yu F. F., Liu H., Guo X. *Biological Trace Element Research*. 2016, April, pp. 1-6.

Контактная информация:

Кияева Елена Викторовна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник института биоэлементологии ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

Адрес: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13

E-mail: elena_sap@mail.ru