

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА УРОВЕНЬ НАКОПЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

© 2019 г. А. В. Храмов, Л. В. Контрош, М. Ю. Панкратова, И. В. Веженкова

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)» Министерства высшего образования и науки, г. Санкт-Петербург

Цель работы – выявить особенности влияния минерального состава питьевой воды на уровень накопления металлов в организме человека. *Методы.* Исследования накопления токсичных металлов были проведены в пяти контрастных геохимических регионах методом определения их концентрации в волосах. Пробы волос были взяты у мальчиков первой группы здоровья в возрасте 10–11 лет. При анализе микроэлементного состава волос и питьевой воды определяли 29 химических элементов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-аргоновой плазмой. *Результаты.* Уровень кальция и магния в волосах в исследуемых группах был весьма переменчивым и определялся жесткостью питьевой воды. Особое внимание уделено зависимости содержания металлов в волосах человека от их поступления в организм и от жесткости питьевой воды. Установлено наличие прямой корреляции концентраций некоторых двухвалентных металлов (кальция и магния) в волосах детей и в питьевой воде. Выявлена обратная зависимость уровня накопления меди, никеля, железа и стронция в волосах детей от концентрации этих металлов в питьевой воде. Выявлены также закономерности накопления металлов в зависимости от геохимического региона и качества питьевой воды. Высокое содержание алюминия и бария обнаруживалось в пробах волос детей из Белгорода при наиболее низком их содержании в питьевой воде. *Выводы.* Содержание металлов в волосах человека зависит не только от их поступления в организм, но и от жесткости питьевой воды. Субтотальный дефицит металлов – биоэлементов в организме жителей Крайнего Севера связан с употреблением ультрапресной питьевой воды. Использование жителями экологически загрязненных городов Севера (например, Мончегорска) питьевой воды, обогащенной кальцием и магнием, создает угрозу накопления в организме токсичных металлов.

Ключевые слова: анализ волос, токсичные металлы, загрязнение окружающей среды, жесткость воды

CHEMICAL COMPOSITION OF DRINKING WATER AND ACCUMULATION OF TOXIC METALS IN A HUMAN BODY

A. V. Hramov, L. V. Kontrosh, M. Y. Pankratova, I. V. Vezhenkova

The Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia

Aims: To study associations between drinking water mineral composition and levels of accumulation of metals in a human body. *Methods:* Studies were conducted in several geochemical regions. Hair samples were taken from healthy 10-11 years old boys aged. Concentrations of toxic metals were determined in hair. Altogether, concentrations of 29 chemical elements in hair and drinking water were determined. Atomic emission spectrometry with inductive-argon plasma methods were used. *Results and conclusions:* The levels of calcium and magnesium in the hair in the study groups significantly varied between the samples and correlated with hardness of drinking water. Significant correlations were observed between the concentrations of calcium and magnesium in children's hair and in drinking water. An inverse association between accumulated copper, nickel, iron and strontium in hair in children and concentrations of these metals in drinking water was found. The patterns of metal accumulation varied across the geochemical regions and by the quality of drinking water.

Key words: hair analysis, toxic metals, environmental pollution, hardness of water

Библиографическая ссылка:

Храмов А. В., Контрош Л. В., Панкратова М. Ю., Веженкова И. В. Влияние химического состава питьевой воды на уровень накопления токсичных металлов в организме человека // Экология человека. 2019. № 6. С. 11–16.

Hramov A. V., Kontrosh L. V., Pankratova M. Yu., Vezhenkova I. V. Chemical Composition of Drinking Water and Accumulation of Toxic Metals in a Human Body. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 6, pp. 11-16.

Токсичные металлы являются важным элементом техногенного загрязнения окружающей среды, что создаёт угрозу попадания их в пищевые цепи [2, 3, 6]. За последние два десятилетия эта угроза возросла в связи с тем, что наряду с традиционными металлами-загрязнителями (хром, марганец, бериллий, кадмий, ртуть, свинец и др.) все чаще отмечается воздействие на человека редкоземельных и редких металлов (индий, галлий, неодим и т. д.). Эти элементы стали широко использоваться при создании

солнечных модулей, элементов микроэлектроники, уникальных магнитов и в атомной промышленности. Токсичность этих элементов пока изучена недостаточно, и их нельзя считать безвредными. Например, токсичность индия занимает промежуточное положение между токсичностью ртути и кадмия [9]. Кроме 17 элементов редкоземельной группы в последнее время в технологиях получили распространение галлий, гафний и другие редкие элементы. Одним из наиболее качественно отражающих техногенную

геохимическую ситуацию в местах проживания людей способом исследования накопления токсичных металлов является метод определения их концентрации в волосах [7, 8, 10]. Метод получил широкое распространение в последние годы, в частности, при исследовании накопления элементов редкоземельной группы [4, 11].

Цель данного исследования — выявить особенности влияния минерального состава питьевой воды на уровень накопления металлов в организме.

Методы

Пробы волос были взяты у мальчиков первой группы здоровья в возрасте 10–11 лет, проживающих в пяти контрастных геохимических регионах:

1. *Геохимический регион 1* — Мурманская область, г. Мончегорск, расположенный в городе комбинат «Североникель» ежегодно выбрасывает в атмосферу более 1,5 тыс. тонн тяжелых металлов. Питьевая вода из оз. Монча отличается очень низкой минерализацией.

2. *Геохимический регион 2* — Мурманская область, г. Кировск, характеризуется незначительным загрязнением атмосферы тяжелыми металлами [7], а также ультрапресной питьевой водой.

3. *Геохимический регион 3* — г. Санкт-Петербург, характеризуется основным источником загрязнения атмосферы тяжелыми металлами — автотранспортом, а также мягкой питьевой водой.

4. *Геохимический регион 4* — г. Белгород, характеризуется благоприятной экологической ситуацией и высокой минерализацией питьевой воды.

5. *Геохимический регион 5* — Мурманская область, пос. Умба, характеризуется как экологически чистое место, содержащее питьевую воду, богатую магнием, при низком уровне других металлов.

Исследования микроэлементного состава волос и питьевой воды проводились на базе Центра исследования и контроля воды (Санкт-Петербург) методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-аргоновой плазмой (ИСП-АЭ) на спектрометре TRACE Analyzer ICA61E фирмы Thermo Jarrell Ash (USA) после перевода точной навески исследуемого образца в раствор азотной кислоты пероксидом водорода

(33 %). Забор проб осуществлялся в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01.

На стадии первичной обработки данных сведения группировались по критерию Стьюдента и заносились в сводные таблицы. Далее были обнаружены и ликвидированы ошибки, совершенные при фиксации данных. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программы Mathcad 12. При сравнении метрических данных использовался коэффициент корреляции произведений по К. Пирсону.

Описанные исследования соответствуют этическим принципам Хельсинкской декларации, принятой в 1975 году.

Результаты

Сравнение концентрации кальция и магния в волосах детей, проживающих в различных регионах (рис. 1), свидетельствует о том, что наибольший уровень этих металлов наблюдается в волосах детей Белгорода: их концентрация в десятки раз выше, чем в волосах детей Мурманской области.

Данные химического анализа проб питьевой воды в рассматриваемых регионах (табл. 1) и данные о накоплении микроэлементов в волосах детей (табл. 2) позволяют сделать вывод о наличии прямой зависимости уровня накопления некоторых двухвалентных металлов (кальция и магния) в волосах у детей от их концентрации в питьевой воде.

Анализ данных табл. 2 показывает, что уровень кальция и магния в волосах во всех исследуемых группах был весьма переменчивым и определялся жесткостью питьевой воды.

Кроме кальция и магния в волосах детей Белгорода отмечается высокая концентрация кадмия, меди, железа, марганца, никеля, титана, стронция и цинка. Анализ зависимости концентрации микроэлементов в волосах детей от жесткости питьевой воды позволил установить прямую зависимость для кадмия, меди, железа, марганца, никеля, титана, стронция, цинка.

Уровень накопления меди, никеля, железа и стронция в волосах детей находился в обратной зависимости от их концентрации в питьевой воде. Содержание меди в волосах детей первой группы здоровья Мон-

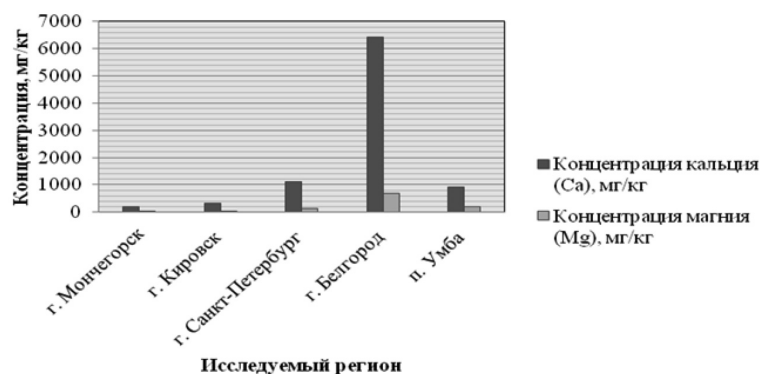


Рис. 1. Сравнение концентрации кальция и магния в волосах детей, проживающих в различных регионах

Таблица 1

Данные химического анализа проб питьевой воды в различных геохимических регионах

№ п/п	Химический элемент	Концентрация элемента в питьевой воде в регионе, мг/л				
		Регион 1	Регион 2	Регион 3	Регион 4	Регион 5
1	Серебро	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$
2	Алюминий	$0,046 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,044 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,25 \pm 6 \times 10^{-3}$	$0,026 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,05 \pm 6 \times 10^{-3}$
3	Мышьяк	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$
4	Бор	$0,01 \pm 1 \times 10^{-3}$	$0,012 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,013 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,1 \pm 0,535$	$1 \times 10^{-2} \pm 1 \times 10^{-3}$
5	Барий	$0,0048 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,017 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,017 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,0094 \pm 6 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-2} \pm 1 \times 10^{-3}$
6	Бериллий	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$
7	Кальций	$3,2 \pm 0,022$	$0,42 \pm 7 \times 10^{-3}$	$10,4 \pm 0,008$	$130 \pm 0,629$	$5,1 \pm 0,078$
8	Кадмий	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$
9	Кобальт	$0,0018 \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$
10	Хром	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$
11	Медь	$0,0883 \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,0011 \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,0016 \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,0032 \pm 7 \times 10^{-5}$	$0,0012 \pm 6 \times 10^{-5}$
12	Железо	$0,23 \pm 0,007$	$0,14 \pm 0,009$	$0,088 \pm 0,001$	$0,081 \pm 0,001$	$1 \times 10^{-2} \pm 1 \times 10^{-3}$
13	Калий	$0,32 \pm 0,008$	$1,8 \pm 0,078$	$1,5 \pm 0,078$	$11 \pm 0,607$	$0,29 \pm 7 \times 10^{-3}$
14	Магний	$0,92 \pm 0,006$	$0,02 \pm 0,001$	$2,9 \pm 0,059$	$17 \pm 0,00005$	$4,7 \pm 0,099$
15	Марганец	$0,0086 \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,0073 \pm 7 \times 10^{-5}$	$0,0065 \pm 0,001$	$0,0077 \pm 0,001$	$0,004 \pm 0,001$
16	Молибден	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,0015 \pm 5 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$
17	Натрий	$2,7 \pm 0,099$	$9,6 \pm 0,059$	$4,51 \pm 8 \times 10^{-3}$	$38 \pm 0,607$	$6,4 \pm 0,059$
18	Никель	$0,062 \pm 1 \times 10^{-3}$	$0,0014 \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,0013 \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,0012 \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$
19	Свинец	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$
20	Сурьма	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$
21	Селен	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3} \pm 1 \times 10^{-3}$
22	Кремний	$1,7 \pm 0,060$	$1,83 \pm 6 \times 10^{-3}$	$2,06 \pm 6 \times 10^{-3}$	$12 \pm 0,607$	$0,21 \pm 7 \times 10^{-3}$
23	Олово	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$
24	Стронций	$0,018 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,064 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,063 \pm 6 \times 10^{-4}$	$2,2 \pm 0,060$	$0,07 \pm 6 \times 10^{-3}$
25	Титан	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$
26	Таллий	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-4}$
27	Ванадий	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$
28	Иттрий	$5 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-5}$
29	Цинк	$0,011 \pm 6 \times 10^{-4}$	$0,0044 \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,0065 \pm 6 \times 10^{-5}$	$0,017 \pm 6 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-3} \pm 6 \times 10^{-5}$

чегорска было в 2 раза ниже, чем у практически здоровых детей Белгорода, но уровень меди в питьевой воде Мончегорска оказался в 27,5 раза выше, чем в Белгороде (рис. 2). Это обусловлено тем, что физиологические закономерности, определяющие элементный гомеостаз организма, доминируют в

процессе накопления последних в эктодермальных тканях, в частности в волосах.

Особый интерес представляет характер накопления никеля в волосах детей, проживающих в непосредственной близости от комбината «Североникель» в Мончегорске и в 46 км от предприятия в Кировске

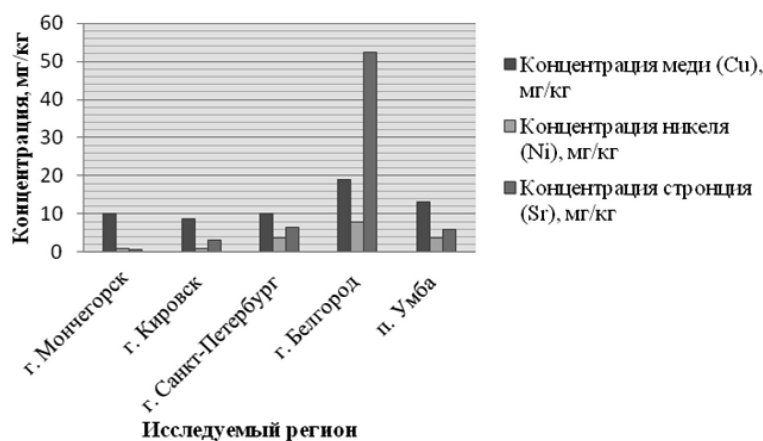


Рис. 2. Концентрация меди, никеля, стронция в волосах детей, проживающих в различных регионах

Таблица 2

Содержание металлов в волосах практически здоровых детей, проживающих в различных геохимических регионах

№ п/п	Химический элемент	Концентрация минералов в волосах детей, мг/кг				
		Регион 1 (n=54)	Регион 2 (n=20)	Регион 3 (n=16)	Регион 4 (n=19)	Регион 5 (n=8)
1	Серебро	0,736±0,018	0,707±0,008	0,497±0,002	0,998±0,001	0,598±0,006
2	Алюминий	9,4±2,1	15,6±3,7	19,1±7,8	68,2±18,8	27,1±11,3
3	Мышьяк	0,494±0,006	0,494±0,006	0,494±0,006	0,494±0,006	0,494±0,006
4	Бор	2,27±1,01	1,28±0,52	1,09±0,64	2,75±0,86	2,84±2,00
5	Барий	0,93±0,36	1,23±0,53	3,88±1,98	5,95±1,81	3,1±1,8
6	Бериллий	0,009±0,001	0,009±0,001	0,009±0,001	0,009±0,001	0,009±0,001
7	Кальций	216±52	319±150	1128±598	6421±875	918±210
8	Кадмий	0,16±0,10	0,13±0,05	0,11±0,08	0,39±0,13	0,21±0,14
9	Кобальт	0,09±0,011	0,09±0,011	0,09±0,011	0,09±0,011	0,09±0,011
10	Хром	1,23±0,36	1,46±0,49	0,65±0,29	9,35±2,82	5,9±4,1
11	Медь	10,0±1,3	8,7±1,0	10,1±2,2	18,9±4,3	13,2±4,4
12	Железо	18,6±3,4	23,8±7,5	44,7±20,7	260,5±71,5	65,0±24,1
13	Калий	184±169	291±282	144±164	199±83	189±137
14	Магний	25,8±7,1	40,3±19,8	135,1±82,4	674,7±161,2	204±106
15	Марганец	0,51±0,23	0,60±0,35	2,55±1,51	9,84±2,26	4,10±2,70
16	Молибден	0,09±0,011	0,09±0,011	0,09±0,011	0,09±0,011	0,09±0,011
17	Натрий	367±285	453±324	449±346	533±91	520±210
18	Никель	1,05±0,44	0,86±0,52	3,62±2,51	7,85±4,03	3,80±1,00
19	Свинец	3,64±2,31	2,18±0,84	1,52±0,93	3,77±1,55	6,70±3,10
20	Сурьма	5,60±3,14	5,71±3,48	0,398±0,001	30,0±28,5	6,4±4,1
21	Селен	0,986±0,006	0,986±0,006	0,398±0,001	0,986±0,006	0,494±0,006
22	Кремний	11,3±7,5	18,1±13,3	32,0±21,7	31,3±9,1	22,3±9,7
23	Олово	0,986±0,006	0,986±0,006	0,494±0,006	0,986±0,006	0,986±0,006
24	Стронций	0,60±0,29	3,01±2,31	6,41±4,42	52,47±6,17	5,90±3,00
25	Титан	0,31±0,09	0,57±0,28	0,53±0,48	3,10±0,93	2,61±1,20
26	Таллий	0,494±0,006	0,494±0,006	0,494±0,006	0,494±0,006	0,494±0,006
27	Ванадий	0,09±0,011	0,09±0,011	0,09±0,011	0,22±0,07	0,09±0,011
28	Иттрий	0,004±0,006	0,004±0,006	–	0,09±0,011	0,004±0,006
29	Цинк	155±21	148±22	168±49	222±29	159±34

(см. рис. 2). Однако, как и в других случаях, наиболее низкий уровень никеля определяется у детей Мончегорска и Кировска (без существенных различий), а высокий – у детей Белгорода и пос. Умба, употребляющих богатую магнием питьевую воду. Концентрация никеля в волосах более 1,2 мг/кг отмечалась у 27,7 % детей Мончегорска, 20,0 % детей Кировска и 75,0 % детей Санкт-Петербурга (см. рис. 2). Содержание этого элемента у детей Белгорода достоверно превосходило средние значения у других контингентов, хотя изначально содержание никеля в питьевой воде города было минимально и загрязнения воздушной среды этим металлом не определялось. Выявлена положительная корреляция содержания никеля в волосах детей первой группы здоровья Мончегорска и Белгорода с концентрацией кальция ($r = 0,3697$ и $r = 0,6126$ соответственно) и магния ($r = 0,4236$ и $r = 0,5399$). Содержание стронция в волосах детей Белгорода было значительно выше, чем в других исследуемых группах. Это может быть связано с очень высоким его содержанием в питьевой воде (на два порядка выше, чем в Мончегорске). Низкое содержание стронция в воде Мончегорска отраз-

илось на его концентрации в волосах детей. У детей Кировска отмечен более высокий уровень стронция в волосах, чем у детей Мончегорска. Так, концентрация этого элемента выше 1,2 мг/кг обнаруживалась у 4 из 54 детей, проживающих в Мончегорске, и у 11 из 20 детей, обследованных в г. Кировске (см. рис. 2).

Обсуждение результатов

Было установлено, что накопление кадмия, титана, цинка и марганца в волосах у детей не зависит от их концентрации в питьевой воде. Самое высокое содержание алюминия и бария обнаруживалось в пробах волос детей из Белгорода при наиболее низком их содержании в питьевой воде. Концентрация алюминия более 14 мг/кг обнаруживалась в волосах 5,5 % детей Мончегорска и 50,0 % детей Кировска. Уровень бария в волосах более 1,3 мг/кг был выявлен у 16,7 % детей Мончегорска и у половины обследованных детей Кировска. Это свидетельствует о том, что употребление жесткой воды способствует накоплению алюминия и бария в волосах детей, а при употреблении ультрапресной воды процесс накопления алюминия и бария в волосах определяется их экспозицией.

Анализ полученных материалов, характеризующих микроэлементный состав волос детей первой группы здоровья, употребляющих воду различной жесткости и проживающих в отличающихся климатических условиях, свидетельствует о низком уровне накопления в волосах детей городов Кировск и Мончегорск как важных биогенных элементов, так и токсичных металлов. При этом концентрация кальция, магния, кадмия, меди, железа, марганца, никеля, титана, стронция и цинка в волосах у детей имеет прямую корреляционную зависимость от жесткости питьевой воды, в то время как уровень меди, никеля и стронция находится в обратной зависимости от их концентрации в питьевой воде. Вследствие этого наиболее низкий уровень тяжелых металлов обнаруживается в волосах детей в Кировске и Мончегорске Мурманской области, а наиболее высокий — в Белгороде. Можно предположить, что при наличии в городах Мурманской области (например, в Мончегорске) жесткой питьевой воды можно столкнуться с явлением интоксикации тяжелыми металлами у детей.

Выявленный феномен справедлив и при оценке уровня накопления тяжелых металлов в волосах взрослого населения. Это подтвердили исследования, проведенные среди рабочих комбината «Североникель» и жителей Санкт-Петербурга, не занятых на вредном производстве, в возрасте от 20 до 52 лет [1].

Уровень накопления в волосах многих металлов у работающих в условиях воздействия высоких концентраций никеля, меди, железа и других существенно не отличается от такового у жителей Санкт-Петербурга, не работающих во вредных условиях.

Все вышеизложенное свидетельствует о субтотальном дефиците многих важных биоэлементов в организме жителей Кольского Севера и в меньшей степени г. Санкт-Петербурга.

Выводы:

1. Содержание металлов в волосах человека зависит не только от их поступления в организм, но и от жесткости питьевой воды. Механизм такого явления необходимо изучить подробнее.

2. Субтотальный дефицит металлов — биоэлементов в организме жителей Крайнего Севера связан с употреблением ультрапресной питьевой воды.

3. Использование питьевой воды, обогащенной кальцием и магнием, жителями экологически загрязненных городов Севера (например, Мончегорска) создает угрозу накопления в организме токсичных металлов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой инженерной защиты окружающей среды СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Тарасу Владимировичу Кустову за общую поддержку исследования.

Авторство

Храмов А. В. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; Контрош Л. В. внесла существенный вклад

в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; Панкратова М. Ю. подготовила первый вариант статьи; Веженкова И. В. окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Храмов Алексей Владимирович — SPIN 9320-0107

Контрош Лидия Владимировна — SPIN 9987-4232; ORCID 0000-0002-7386-1878

Список литературы

1. Алексеев С. В., Янушанец О. И., Храмов А. В., Серпов В. Ю. Элементный дисбаланс у детей Северо-Запада России. СПб.: Мед. пресса, СПбГПМА, 2001. 157 с.

2. Бобун И. И., Иванов С. И., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б., Лазарева Н. К. К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде на примере Архангельской области // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 91–95.

3. Бузинов Р. В., Кику П. Ф., Унгурияну Т. Н., Ярыгина М. В., Гудков А. Б. От Поморья до Приморья: социально-гигиенические и экологические проблемы здоровья населения: монография. Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2016. 397 с.

4. Кривошеев Ю. К. Сравнительная оценка содержания химических элементов в волосах у детей Мончегорска и других регионов России // Бюллетень СГМУ. 2003. № 2. С. 133–134.

5. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Мурманской области в 2016 году / Управление Роспотребнадзора по Мурманской области / под ред. гл. государственного санитарного врача по Мурманской области, заслуженного врача Российской Федерации к.м.н. Л. А. Лукичевой. Мурманск, 2017.

6. Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б., Никанов А. Н. Оценка риска для здоровья населения при воздействии загрязнителей почвы // Профилактическая и клиническая медицина. 2012. № 1. С. 101–105.

7. Abdelrazig M., Abdelbagi, Maraim A., Gilani M., Ali E., Sharf Eldeen. Concentrations of trace elements in human hair as a biomarker expose to environmental contamination // International Journal of Scientific Research and Innovative Technology. 2017. Vol. 4, N 2. P. 1–11.

8. Anatoly V. Skalny, Alexey A. Tinkov, Irina Voronina, Olga Terekhina, Margarita G. Skalnaya, Yulia Kovas. Hair Trace Element and Electrolyte Content in Women with Natural and In Vitro Fertilization-Induced Pregnancy // Biological Trace Element Research. 2018. Vol. 181, Iss. 1, P. 1–9.

9. Bowen H. J. M. Trace elements in biochemistry. New York: Academic Press, 1966. 241 p.

10. Skalny A. V., Simashkova N. V., Skalnaya A. A., Klyushnik T. P. Assessment of gender and age effects on serum and hair trace element levels in children with autism spectrum disorder // Metabolic Brain Disease. 2017. Vol. 32, N 5. P. 1675–1684.

11. Xiaofei Li, Zhibiao Chen, Zhiqiang Chen, Yonghe Zhang. A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in Fujian Province, Southeast China // Chemosphere. 2013. Vol. 93, Iss. 6. P. 1240–1246.

References

1. Alekseev S. V., Yanushanets O. I., Hramov A. V., Serpov V. Yu. *Elementnyi disbalans u detei Severo-Zapada*

- Rossii [Element imbalance in children in Northwest Russia]. Saint Petersburg, 2001, 157 p.
2. Bobun I. I., Ivanov S. I., Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Lazareva N. K. On the issue of regional normalization of chemicals in water as an example of the Arkhangelsk Region. *Gigiena i Sanitariya*. 2011, 3, pp. 91-95. [In Russian]
3. Buzinov R. V., Kiku P. F., Unguryanu T. N., Yarygina M. V., Gudkov A. B. *Ot Pomor'ya do Primor'ya: sotsial'no-gigienicheskie i ekologicheskie problemy zdorov'ya naseleniya* [From Pomorie to Primorye: socio-hygienic and environmental problems of public health: monograph]. Arkhangelsk, Publishing house of the Northern State Medical University, 2016, 397 p.
4. Krivosheev Yu. K. Comparative assessment of the content of chemical elements in the hair of children Monchegorsk and other regions of Russia. *Byulleten' Northern State Medical University* [Bulletin of Northern State Medical University]. 2003, 2, pp. 133-134 [In Russian].
5. *O sanitarno-epidemiologicheskoi obstanovke v Murmanskoi oblasti v 2016 godu* [On sanitary-epidemiological situation in the Murmansk region in the year 2016]. Ed. L. A. Lukicheva. Murmansk, 2017.
6. Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Nikanov A. N. Risk evaluation to human health under the influence of contaminants in soil. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina* [Prophylactic and Clinical Medicine]. 2012, 1, pp. 101-105. [In Russian]
7. Abdelrazig M., Abdelbagi, Maraim A., Gilani M., Ali E., Sharf Eldeen. Concentrations of trace elements in human hair as a biomarker expose to environmental contamination. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*. 2017, 4 (2), pp. 1-11.
8. Anatoly V. Skalny, Alexey A. Tinkov, Irina Voronina, Olga Terekhina, Margarita G. Skalnaya, Yulia Kovas. Hair Trace Element and Electrolyte Content in Women with Natural and In Vitro Fertilization-Induced Pregnancy. *Biological Trace Element Research*. 2018, 181 (1), pp. 1-9.
9. Bowen H. J. M. *Trace elements in biochemistry*. New York, Academic Press, 1966, 241 p.
10. Skalny A. V., Simashkova N. V., Skalnaya A. A., Klyushnik T. P. Assessment of gender and age effects on serum and hair trace element levels in children with autism spectrum disorder. *Metabolic Brain Disease*. 2017, 32 (5), pp. 1675-1684.
11. Xiaofei Li, Zhibiao Chen, Zhiqiang Chen, Yonghe Zhang. A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in Fujian Province, Southeast China. *Chemosphere*. 2013, 93 (6), pp. 1240-1246.

Контактная информация:

Контрош Лидия Владимировна – аспирант, ассистент кафедры инженерной защиты окружающей среды ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)»
Адрес: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 5
E-mail: Lida.Kontrosh@mail.ru