

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Скальная М.Г.^{1,2}, Грабеклис А.Р.^{1,2}, Скальный А.А.², Айсувакова О.П.^{1,2}, Лобанова Ю.Н.^{2,3}, Серебрянский Е.П.³, Скальный А.В.^{1,2,3}

Оценка элементного статуса населения Кировской области методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой

¹ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова», 150003, Ярославль;

²ФГАУ ВО «Российский университет дружбы народов», 117198, Москва;

³ООО «Микронутриенты», 105082, Москва

Введение. Целью настоящего исследования являлись изучение и оценка элементного статуса жителей Кировской области, входящей в состав Приволжского федерального округа (ПФО).

Материал и методы. Было изучено содержание элементов в волосе 295 мужчин и женщин (73 и 222 соответственно, 25–50 лет) и 120 мальчиков и девочек (46 и 74 соответственно, 3–15 лет) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Данный показатель служит в качестве индикатора при оценке воздействия окружающей среды на организм человека. При математической обработке полученных данных использовались методы непараметрической статистики.

Результаты. Обнаружено, что для женщин, девочек и мальчиков по сравнению с другими регионами ПФО характерно относительное повышение абсолютного содержания (медианы) в волосах Mg, Fe, V. Для лиц, проживающих на территории Кировской области, характерно относительное повышение уровня Si в волосах (за исключением мальчиков). Обращает на себя внимание также относительно сниженный уровень Cu (за исключением женщин) и Se (за исключением мужчин).

Обсуждение. Основные проблемы, связанные со снижением содержания соединений Cu и Se, а также ростом содержания Si, Mg, Fe и V, скорее всего имеют геохимическую природу и, в частности, связаны с химическим составом питьевой воды. Показано, что волосы детей в большей, чем у взрослых, степени являются биологическим субстратом, элементный состав которого указывает на экологический и социально-бытовой факторы, качество продуктов и развития системы здравоохранения.

Заключение. Полученные данные могут быть рекомендованы к использованию в качестве референтных при оценке уровня соединений химических элементов в волосах взрослых и детей, проживающих на территории Кировской области.

Ключевые слова: Кировская область; элементный статус; волосы; многоэлементный анализ; ИСП-МС.

Для цитирования: Скальная М.Г., Грабеклис А.Р., Скальный А.А., Айсувакова О.П., Лобанова Ю.Н., Серебрянский Е.П., Скальный А.В. Оценка элементного статуса населения Кировской области методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(3): 309–316. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-309-316>

Для корреспонденции: Айсувакова Ольга Павловна, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры медицинской элементологии РУДН. E-mail: ojasuvakova@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100».

Участие авторов: Скальная М.Г. – участие в планировании эксперимента, описании и интерпретации полученных данных; Грабеклис А.Р. – анализ и описание полученных данных, проведение статистической обработки; Скальный А.А. – участие в сборе и подготовке материала к анализу; Айсувакова О.П. – проведение аналитических определений, подготовка первого варианта рукописи; Лобанова Ю.Н. – проведение аналитических определений; Серебрянский Е.П. – определение микроэлементов в представленном материале; Скальный А.В. – разработка дизайна эксперимента, анализ полученных данных их интерпретация.

Поступила: 03.06.2019

Принята к печати: 12.12.2019

Опубликована: 20.04.2020

Skalnaya M.G.^{1,2}, Grabeklis A.R.^{1,2}, Skalny A.A.², Ajsuvakova O.P.^{1,2}, Lobanova Yu.N.^{2,3}, Serebryansky E.P.³, Skalny A.V.^{1,2,3}

Elementary status evaluation of Kirov region's population by method of mass spectrometry with inductively coupled plasma

¹P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, 150003, Russian Federation;

²Russian Peoples' Friendship University, Moscow, 117198, Russian Federation;

³Micronutrients, Limited Liability Company, Moscow, 105082, Russian Federation

Introduction. The purpose of this study was to study and assess the elemental status of residents of the Kirov region as a part of the Volga Region Federal District (VFD).

Material and methods. The content of elements in the hair of 295 men and women (73 and 222, respectively, 25–50 years old) and 120 boys and girls (46 and 74, respectively, 3–15 years old) were studied using massspectrometry with inductively coupled plasma. This indicator serves an index in assessing the impact of environment on human organism. Methods of non-parametric statistics were used for the mathematical simulation of our data.

Results. It was found that women, girls and boys compared with other regions of the VFD are characterized by a relative increase in the absolute content (median) in the hair of Mg, Fe, V. For people living in the territory of the Kirov region a relative increase in the Si level in the hair is characterized with exception of boys. The relatively reduced level of Cu (with the exception of women) and Se (with the exception of men) also make oneself conspicuous.

Discussion of the results. The main problems associated with a decrease in the content of Cu and Se compounds, as well as an increase in the content of Si, Mg, Fe and V, most likely have a geochemical nature and, in particular, are associated with the chemical composition of drinking water. The hair of children in a greater degree than in adults is shown to be a biological substrate, the elemental composition of which indicates to ecological and social factors, the quality of products and the development of the health care system.

Conclusions. The obtained data can be recommended for the use as reference values in assessing the level of chemical compounds in the hair of adults and children living in the territory of the Kirov region.

К е у в о р д с : Kirov region; elementary status; hair; multielemental analysis; ICP-MS.

For citation: Skalnaya M.G., Grabeklis A.R., Skalny A.A., Ajsuvakova O.P., Lobanova Yu.N., Serebryansky E.P., Skalny A.V. Elementary status evaluation of Kirov region's population by method of mass spectrometry with inductively coupled plasma. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(3): 309-316. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-309-316>

For correspondence: Olga P. Ajsuvakova, MD, Ph.D., assistant professor of Department of medical elementology of the Russian Peoples' Friendship University, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: oajsuvakova@gmail.com

Information about the authors:

Skalnaya M.G., <https://orcid.org/0000-0003-1099-2560>; Grabeklis A. R., <https://orcid.org/0000-0003-4017-4139>; Skalny A.A., <https://orcid.org/0000-0002-0934-4315>; Ajsuvakova O.P., <https://orcid.org/0000-0003-4707-9353>; Lobanova Yu.N., <https://orcid.org/0000-0002-0934-4315>; Serebryansky E.P., <https://orcid.org/0000-0001-9814-3808>; Skalny A.V., <https://orcid.org/0000-0001-7838-1366>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. The work had the support in the frames of the " Russian Peoples' Friendship University Program 5-100.

Contribution: Skalnaya M.G. – participation in planning of the experiment, the description and interpretation of the data; Grabeklis A.R. – analysis and description of the obtained data, carry out statistical processing; Skalny A.A. – participation in the collection and preparation of material for analysis; Isakova O.P. – analytical evaluation, the preparation of the first version of the manuscript; Lobanova Yu. N. – carrying out analytical assessment; Serebryansky E. P. – determination of trace elements in the presented material; Skalny V.A. – design of experiment, analysis of obtained data and their interpretation. Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors

Received: June 3, 2019

Accepted: December 12, 2019

Published: April 20, 2020

Введение

По результатам оценки, проведённой Зайцевой и соавт. [1], Кировская область относится к регионам РФ с комплексом санитарно-эпидемиологических, а также социально-экономических проблем, способствующих формированию наиболее высоких уровней факторов среды обитания, которые связаны с негативным воздействием, ведущим к нарушению здоровья населения. Для данного региона характерен высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, в частности в г. Кирово-Чепецке регистрировались превышения гигиенических нормативов по фтористому водороду, хлористому водороду и взвешенным веществам в 2,17; 2,17 и 4,76 раза соответственно [2]. Для существенной доли проб питьевой воды показано превышение гигиенических нормативов по санитарно-химическим (21,1%) и по микробиологическим (8,6%) показателям [2, 3]. В результате формируются высокие коэффициенты как смертности, так и заболеваемости населения, которые в свою очередь ассоциированы с негативным влиянием факторов окружающей среды. Например, санитарно-гигиенические факторы обуславливают в среднем 1,05 смертельного случая и около 92,4 дополнительного случая заболеваний в расчёте на 1 тыс. населения. На долю социально-экономических факторов среды обитания приходится участие в формировании 1,21 случая смерти и 80,7 дополнительного случая заболеваемости на 1 тыс. населения [1].

Попытки проведения оценки содержания элементов в волосах лиц, проживающих на территории Кировской области, предпринимались и ранее. Так, анализ волос жителей Кирова выявил склонность их к гиперэлементозам. Авторами [4] отмечено повышение уровня Ca, P, V, Sn, Si, Pb, на фоне снижения содержания хрома Cr (табл. 1).

В 2010 г. изучение особенностей элементного статуса жителей Кировской области осуществлялось региональным Управлением Роспотребнадзора [2]. Были обследованы 100 детей в возрасте от 7 до 17 лет, проживающих в г. Слободский Кировской области. Полученные данные являются свидетельством невысокой обеспеченности детей соединениями P, I, Zn, Se, Cu, Co, при этом был отмечен повышенный уровень таких элементов, как натрий, железо, магний и

марганец. Существенных отклонений в содержании соединений как токсичных, так и условно токсичных элементов (алюминий, мышьяк, кадмий, ртуть, никель и свинец) не выявлено. Среди типовых особенностей по региону следует отметить дефицит меди. Так, обследование показало, что у 78,4% мальчиков содержание Си в волосах было снижено по сравнению с референтным уровнем (табл. 2). Заниженные значения показаны для соединений цинка (65,1% девочек), селена (54% девочек), йода (43,2% мальчиков) и фосфора (38% детей обоих полов). Е.В. Олейниковой [5] определена «степень напряжённости» для медико-экологической ситуации в Кировской области и выявлены экологически обусловленные болезни (расстройства печени и крови (анемии), двигательного аппарата, врождённые нарушения развития) и факторы риска, к которым относится вариативность со-

Таблица 1

Содержание элементов в волосе жителей Кирова в возрасте 25–46 лет [4]

Элемент	Содержание, мг/кг	Элемент	Содержание, мг/кг
Алюминий Al	20,2 ± 3,7	Олово Sn	2,81 ± 0,51
Железо Fe	24,6 ± 3,32	Кобальт Co	0,15 ± 0,03
Свинец Pb	1,81 ± 0,79	Марганец Mn	1,5 ± 0,25
Мышьяк As	0,15 ± 0,08	Титан Ti	0,27 ± 0,07
Калий K	212 ± 72	Медь Cu	11,36 ± 1
Селен Se	1,99 ± 0,19	Натрий Na	340 ± 61
Кальций Ca	1621 ± 325	Ванадий V	0,11 ± 0,03
Литий Li	0,11 ± 0,03	Хром Cr	0,61 ± 0,08
Кремний Si	25,13 ± 5,77	Никель Ni	0,44 ± 0,16
Кадмий Cd	0,2 ± 0,06	Цинк Zn	197 ± 13
Магний Mg	147 ± 32	Фосфор P	196 ± 20

держания соединений ряда элементов в питьевой воде (в частности, превышение по В, Со, Си, Са, дефицит по F). Вышеперечисленное делает актуальной проблему оценки содержания микроэлементов в биосубстратах населения Кировской области, в связи с чем целью настоящей работы являлись сбор и анализ данных по элементному статусу населения этого региона России.

Материал и методы

В настоящем исследовании представлены результаты определения содержания ряда химических элементов (алюминий, мышьяк, бор, кальций, кадмий, кобальт, хром, медь, железо, ртуть, цинк, йод, калий, литий, магний, марганец, натрий, никель, фосфор, свинец, селен, кремний, олово, ванадий) в волосах 295 взрослых жителей Кировской области (мужчины (73) и женщины (222), 25–50 лет) и 120 детей (46 мальчиков и 74 девочки, 3–15 лет). Анализ выполнялся масс-спектрометрическим методом (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, ИСП-МС) на базе клинической лаборатории Центра биотической медицины (Москва, РФ; ISO 9001:2008, сертификат № 54Q10077 от 21 мая 2010 г.) [6–8]. Определение содержания химических элементов осуществляли с использованием ИСП-МС спектрометра ELAN 9000 (Perkin Elmer – SCIEX, Канада). Для градуировки использовали моноэлементные стандартные растворы фирмы Perkin Elmer (США) [9, 10]. Качество выполняемых определений контролировалось посредством референтного материала (образец GBW09101, Институт ядерных исследований, Шанхай, КНР).

При отборе образцов волосы состригали с затылочной части головы в бумажные конверты и хранили при комнатной температуре в сухом месте [6]. Образцы волос затем подвергали обезжириванию с помощью ацетона (о.с.ч.; Химмед, Россия) в течение 10–15 мин, трижды промывали деионизированной водой и высушивали при 60 °С. Для получения деионизированной воды (18 МОм·см) использовали электрической дистиллятор с комбинированной установкой мембранного типа марки ДВС-М/1НА-1(2)-L (Медиана-Филтър, РФ). Далее образцы волос выдерживали при температуре $t = 60$ °С до полного высыхания. Навеску волоса массой 50 мг разлагали с 5 мл концентрированной HNO_3 (о.с.ч.; Химмед, Россия) с использованием системы для микроволнового разложения Multiwave 3000 (Perkin Elmer – A. Paag, Австрия). При этом сначала в течение 5 мин температуру повышали до 200 °С, затем 5 мин выдерживали образцы при 200 °С и после охлаждали до температуры, равной 45 °С. Полученные таким образом растворы переносили без потерь в полипропиленовые пробирки объёмом 15 мл, растворы доводили до общего объёма 15 мл деионизированной водой и подвергали тщательному перемешиванию.

Для математического моделирования данных эксперимента применяли программные продукты Microsoft Excel (Microsoft, США) и Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США) с использованием подходов, традиционных для непараметрической статистики. В силу ряда причин распределение значений в статистических выборках данных об уровне химических элементов в биообразцах редко соответствует закону нормального распределения. Более правильным способом статистического описания распределённых данных в этом случае является использование медианы и межквартильного интервала, поэтому данные в нашей работе представлены в форме медианы с межквартильным интервалом [11–13]. В рамках данного исследования по анализу волос проводилось ранжирование обследуемых по содержанию химических элементов в волосах и по частоте встречаемости случаев их избытка или недостатка. Более высокое численное значение ранга соответствует более низкому уровню химического элемента и меньшей частоте встречаемости отклонений.

Таблица 2

Частота отклонений показателей содержания элементов в волосе обследованных лиц от референтных значений [2]

Химический элемент	Доля испытуемых с результатами					
	в границах допустимого уровня, %		выше допустимого уровня, %		ниже допустимого уровня, %	
	мальчики	девочки	мальчики	девочки	мальчики	девочки
P	37,8	44,4	24,3	17,5	37,8	38,1
Zn	35,1	30,2	16,2	4,8	48,7	65,1
Cu	16,2	28,6	5,4	1,6	78,4	69,8
Se	73,0	46,0	0,0	0,0	27,0	54,0
I	56,8	65,1	0,0	4,8	43,2	30,2
Fe	43,2	42,9	56,8	57,1	0,0	0,0

Примечание. Значимые частоты отклонений, превышающие 25%, выделены жирным.

Для наглядного представления характерных особенностей элементного статуса жителей региона использовали следующую формулу [14, 15]:

$$\text{ЭП} = \frac{\text{ГунерЭ}}{\text{ГуноЭ}} = \frac{\text{Ту ПТЭ} / \text{УЭЭ} / \text{ЭЭ}}{\text{ЭЭ} / \text{УЭЭ}}, \quad (1)$$

где ЭП – элементарный портрет; ГунерЭ – гиперэлементозы; ГуноЭ – гипозэлементозы; Т – токсичные элементы; ПТЭ – потенциально токсичные элементы; УЭЭ – условно эссенциальные элементы; ЭЭ – эссенциальные элементы. В числителе дроби последовательно приведены те химические элементы, которые обладают высоким рангом уровня встречаемости избыточного содержания того или иного элемента в волосах: токсичные (алюминий, мышьяк, кадмий, свинец) и потенциально токсичные (олово). Условно эссенциальные элементы (бор, литий, ванадий, никель) и эссенциальные элементы (макро- и микроэлементы, в том числе К, Na, P, Ca, Mg, Cu, Co, Fe, I, Mo, Se, Zn, Cr, Mn) указаны через дробь. В знаменателе нами приведены эссенциальные и условно эссенциальные элементы с высоким рангом по встречаемости сниженного содержания в волосах. В формулах учтены значения рангов, которые отражают 20–25% общего числа по соответствующему элементу, начиная с высшего (то есть с минимального) численного значения ранга.

Результаты

Результаты проведённого исследования представлены в табл. 3–5. Полученные данные сравнивались с данными по содержанию химических элементов в волосах взрослого населения, проживающего в ПФО [16].

Полученные данные являются свидетельством того, что для женщин, девочек и мальчиков характерно относительное повышение абсолютного содержания (медианы) в волосах Mg, Fe, V. Также для лиц, проживающих на территории Кировской области, характерно повышение уровня Si в волосах (за исключением мальчиков). Обращает на себя внимание также сниженный уровень Cu (за исключением женщин) и Se (кроме мужчин). В целом можно сказать, что мужчины и мальчики имеют элементный профиль, более типичный для округа, тогда как женская часть популяции имеет больше отличий от значений по ПФО. Следует отметить, что повышенные медианы токсических элементов встречаются сравнительно редко и относительно умеренны (свинец у мальчиков (ранг 3), мышьяк у женщин (ранг 3)). Низкие медианы уровня токсикантов встречаются намного чаще (ртуть, олово и никель – у мальчиков; ртуть, мышьяк, никель, свинец, олово – у девочек; мышьяк, кадмий и оло-

Таблица 3

Элементный состав волоса мужчин и женщин, проживающих на территории Кировской области РФ, мг/кг

Элемент	Женщины		Мужчины	
	Кировская область, n = 222	ПФО в целом, n = 7453	Кировская область, n = 73	ПФО в целом, n = 3275
Ca	1340 (644–2469)	1352 (687–2501)	382 (270–816)	507 (354–813)
K	36 (19–107)	43 (20–115)	99 (36–349)	113 (45–291)
Mg	134,2 (74,8–273,4)	118,3 (60,3–226,5)	45 (27,1–87,2)	54,1 (35,8–86,4)
Na	110 (56–254)	131 (61–292)	200 (87–527)	256 (123–569)
P	144 (128–164)	146 (128–168)	158 (137–188)	152 (135–171)
Co	0,026 (0,014–0,047)	0,021 (0,012–0,044)	0,015 (0,009–0,026)	0,016 (0,01–0,027)
Cr	0,34 (0,23–0,49)	0,33 (0,23–0,47)	0,47 (0,33–0,85)	0,49 (0,34–0,75)
Cu	12 (10–15,6)	11,9 (9,9–15,3)	10,8 (9,7–12,6)	11,4 (9,8–13,5)
Fe	18,7 (12,2–26,9)	16 (11,2–24,4)	17,7 (14,2–27)	18,9 (12,4–31,6)
I	1,15 (0,55–2,66)	0,72 (0,31–1,79)	0,7 (0,39–2,14)	0,56 (0,15–1,34)
Mn	0,93 (0,57–1,95)	0,84 (0,43–1,86)	0,56 (0,37–1,29)	0,6 (0,35–1,09)
Se	0,27 (0,16–0,39)	0,31 (0,17–0,47)	0,43 (0,33–0,53)	0,36 (0,23–0,49)
Zn	185 (162–227)	187 (157–226)	189 (157–219)	175 (149–205)
B	0,69 (0,4–1,25)	0,63 (0,39–1,07)	0,94 (0,42–1,87)	0,99 (0,59–1,69)
Li	0,021 (0,013–0,034)	0,021 (0,012–0,035)	0,023 (0,013–0,036)	0,026 (0,015–0,045)
Ni	0,36 (0,22–0,65)	0,37 (0,22–0,63)	0,29 (0,19–0,56)	0,31 (0,2–0,5)
Si	33,8 (20,8–57,4)	32,2 (18,5–55,3)	27,1 (18,2–35,6)	26,8 (17,1–43,1)
V	0,059 (0,041–0,094)	0,055 (0,036–0,087)	0,076 (0,052–0,119)	0,079 (0,048–0,124)
As	0,021 (0,021–0,021)	0,021 (0,021–0,0462)	0,0484 (0,021–0,0851)	0,0602 (0,0365–0,0928)
Al	10,24 (6,72–16,88)	8,18 (4,73–13,86)	9,63 (6,36–14,11)	9,44 (5,48–15,25)
Cd	0,019 (0,01–0,039)	0,021 (0,011–0,043)	0,025 (0,015–0,059)	0,052 (0,022–0,135)
Hg	0,5 (0,27–0,94)	0,51 (0,29–0,9) 0,75 ± 1,45	0,58 (0,31–1,05)	0,53 (0,27–1,03)
Pb	0,34 (0,18–0,69)	0,32 (0,17–0,62)	0,57 (0,34–2,1)	0,86 (0,41–2,02)
Sn	0,15 (0,07–0,39)	0,13 (0,06–0,37)	0,09 (0,07–0,15)	0,11 (0,07–0,18)

Таблица 4

Элементный состав волоса детей, проживающих на территории Кировской области РФ, мг/кг

Элемент	Девочки		Мальчики	
	Кировская область, n = 74	ПФО в целом, n = 893	Кировская область, n = 46	ПФО в целом, n = 663
Ca	696 (461–1213)	469 (290–887)	309 (259–420)	298 (223–412)
K	64 (30–152)	120 (39–497)	372 (162–1419)	311 (117–949)
Mg	149,9 (59,4–234,5)	43,7 (24–106,6)	34,1 (25,8–64,8)	26,3 (18,3–45)
Na	141 (90–282)	180 (79–443)	649 (338–1821)	403 (159–939)
P	131 (115–147)	130 (115–150)	142 (118–158)	139 (122–157)
Co	0,019 (0,013–0,04)	0,017 (0,01–0,032)	0,017 (0,012–0,022)	0,015 (0,009–0,023)
Cr	0,32 (0,19–0,62)	0,41 (0,29–0,58)	0,47 (0,35–0,77)	0,5 (0,36–0,74)
Cu	9,5 (8,4–10,4)	10,4 (9,1–12,8)	9,2 (8,1–10,3)	10,2 (8,9–11,9)
Fe	21,9 (17,5–27,5)	18,7 (13,2–27,4)	23,2 (17,8–29,1)	18,2 (13,1–27,9)
I	0,83 (0,45–2,19)	0,82 (0,38–2,07)	0,82 (0,39–1,36)	0,8 (0,37–1,84)
Mn	1,24 (0,48–2,05)	0,56 (0,31–1,18)	0,97 (0,6–1,48)	0,47 (0,27–0,92)
Se	0,3 (0,2–0,42)	0,37 (0,25–0,53)	0,34 (0,28–0,45)	0,38 (0,26–0,55)
Zn	158 (129–187)	146 (95–188)	137 (109–165)	138 (98–175)
B	1 (0,78–1,33)	0,95 (0,57–1,7)	2,33 (1,47–3,34)	1,65 (0,97–2,92)
Li	0,026 (0,016–0,037)	0,024 (0,014–0,041)	0,035 (0,023–0,065)	0,031 (0,017–0,053)
Ni	0,25 (0,19–0,42)	0,32 (0,2–0,53)	0,2 (0,15–0,29)	0,25 (0,17–0,4)
Si	26,1 (19,1–35)	23,3 (15,9–35,5)	24,2 (17,5–30,9)	23,6 (16,1–36,6)
V	0,151 (0,071–0,29)	0,084 (0,053–0,137)	0,117 (0,085–0,21)	0,099 (0,067–0,158)
As	0,0241 (0,021–0,0587)	0,0481 (0,021–0,0768)	0,0803 (0,0598–0,1064)	0,0709 (0,0483–0,11)
Al	9,23 (6,97–11,97)	11,22 (7,11–17,89)	11,23 (7,81–14,8)	11,81 (7,36–17,93)
Cd	0,04 (0,021–0,078)	0,047 (0,025–0,098)	0,068 (0,04–0,12)	0,069 (0,038–0,142)
Hg	0,18 (0,1–0,32)	0,26 (0,15–0,45)	0,22 (0,09–0,35)	0,23 (0,12–0,42)
Pb	0,58 (0,38–1,12)	0,78 (0,4–1,56)	1,66 (0,81–2,27)	1,28 (0,67–2,27)
Sn	0,11 (0,08–0,21)	0,18 (0,1–0,34)	0,12 (0,09–0,18)	0,18 (0,1–0,3)

Таблица 5

Встречаемость отклонений от референтных значений у жителей Кировской области РФ, % (на основании результатов элементного анализа волоса)

Элемент	Дети				Взрослые			
	девочки		мальчики		женщины		мужчины	
	повышено	понижено	повышено	понижено	повышено	понижено	повышено	понижено
Ca	47,3	10,8	17,4	15,2	24,8	23,0	20,5	39,7
K	12,2	35,1	58,7	8,7	25,2	38,7	31,5	30,1
Mg	71,6	2,7	41,3	6,5	38,7	18,9	34,2	28,8
Na	23,9	9,9	72,1	2,3	27,5	24,8	17,8	26,0
P	17,6	40,5	21,7	41,3	22,5	40,5	24,7	24,7
Co	2,7	58,1	0,0	80,4	4,5	39,2	4,1	65,8
Cr	25,7	41,9	32,6	13,0	10,4	18,5	17,8	13,7
Cu	5,4	71,6	4,3	71,7	18,5	35,6	4,1	38,4
Fe	43,2	4,1	50,0	6,5	21,2	16,2	9,6	11,0
I	8,2	35,6	2,2	34,8	14,4	32,4	15,5	46,5
Mn	58,1	6,8	45,7	4,3	34,7	9,0	30,1	9,6
Se	0,0	45,9	0,0	26,1	2,7	45,0	6,8	12,3
Zn	12,2	47,3	10,9	52,2	23,9	41,0	39,7	21,9
B	0,0	0,0	12,8	0,0	3,0	0,0	7,4	0,0
Li	1,4	0,0	6,5	0,0	3,2	3,6	6,8	0,0
Ni	2,7	0,0	0,0	0,0	7,7	0,0	5,5	0,0
Si	15,5	0,0	11,6	4,7	27,5	9,0	5,5	12,3
V	8,1	0,0	4,3	0,0	5,9	0,0	15,1	0,0
As	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0
Al	1,4	0,0	0,0	0,0	11,7	0,0	4,1	0,0
Cd	1,4	0,0	2,2	0,0	6,8	0,0	8,2	0,0
Hg	0,0	0,0	2,2	0,0	5,9	0,0	11,0	0,0
Pb	1,4	0,0	6,5	0,0	6,3	0,0	20,5	0,0
Sn	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0

во – у мужчин). Следовательно, для элементного статуса населения Кировской области характерен большой риск гипер- и гипомикроэлементозов как эссенциальных, так и условно эссенциальных микроэлементов при относительно небольшом уровне нагрузки экотоксикантами. Факт отклонения абсолютных значений от типичных для ПФО более заметен в группах женщин и детей. Возможно, это служит доказательством значительного влияния на элементный статус жителей изучаемого региона природно-климатических и биогеохимических факторов в сравнении с экотоксикологическими.

Элементный статус проживающих на территории г. Кирова и Кировской области отличается высокой встречаемостью избыточного содержания в волосах половины из вышеупомянутых элементов на фоне значительно менее распространённых гипомикроэлементозов. Предположительно, накопление в волосах эссенциальных и условно эссенциальных элементов вызывается в основном комплексом природно-климатических и экологических, а также социальных факторов, что, по видимому, отражает их повышенное поступление в организм, а в ряде случаев – усиление элиминации. Наиболее ярко дисэлементоз проявляется у мужчин. Только для этой группы отмечен повышенный риск накопления As и Pb – классических токсических элементов. Общим для всех жителей является повышенное содержание хрома, соединения которого широко применяются в машиностроении, гальванической и кожевенной промышленности. Также почти у всех жителей повышена частота избытка накопления ванадия и марганца (за исключением женщин), магния и железа (за исключением мужчин), бора (за исключением девочек). У представителей мужского пола общим является повышенная частота избыточного накопления в волосах соединений свинца и цинка, а также низких показателей содержания соединений меди. Для взрослых типичен избыток бора, йода и кобальта, а для детей – дефицит цинка.

Элементный статус жителей Кировской области схематически может быть представлен в следующем виде (рисунок).

Обсуждение

При описании полученных нами относительных величин (риск распространённости гипер- и гипомикроэлементозов) на основании имеющихся литературных данных [17] делается предположение, что повышенное содержание K, Na, Mg,

Ca, P в волосах в основном сочетается с их пониженной концентрацией во внутренних средах. То есть более корректно данные отклонения следует называть дисбалансами, в остальных случаях избыток или дефицит в волосах наиболее близок к понятиям гипер- или гипомикроэлементоза, так как изменения в волосах и внутренних средах организма в основном однонаправлены.

Частота превышений верхнего уровня содержания бора (7%, ранг 1) выражена максимально для ПФО с точки зрения риска развития гиперэлементозов у мужчин, проживающих на территории Кировской области. Данный факт можно объяснить высоким уровнем минерализации природных вод в данном регионе. Так, отмечено, что в образцах воды, взятых на анализ в Котельничском и Опаринском районах Кировской области, ПДК по соединениям бора превышена в 5 раз [2, 16].

Дети (3–15 лет)	
Девочки	Мальчики
$\text{ЭП} = \frac{- / V (1) / \text{Mg, Mn (1), Ca (2), Cr (3), Fe (4)}}{\text{Cu (1), Cr, Zn (2), Se (3), K (4) / -}$	$\text{ЭП} = \frac{- / V (1) / \text{B, Li (4) / K, Mn, Na (1), Mg (2), Cr, Fe (4)}}{\text{Cu, Zn (1) / -}$
Взрослые (25–50 лет)	
Женщины	Мужчины
$\text{ЭП} = \frac{\text{Al (4) / B (2) / Fe, I (1), Co (2), Cr, Mn (3)}}{\text{K, P, Se (3), Na (4)}}$	$\text{ЭП} = \frac{\text{As (2), Pb (4) / B (1), Ni (2), V (3) / Co (2), Cr, I, Se, Zn (3), K, Mg (4)}}{\text{Ca (1), Mg (3), Cu (4) / -}$

Схема элементного портрета жителей Кировской области

Случаи избытка по As, Ni, Co (1,4; 6; 4%, ранг 2), V (15%, ранг 3), Pb (21%, ранг 4), Cr, Se, I, Zn (18; 7; 16; 40%, ранг 3), K и Mn (32; 30%, ранг 4) распространены среди мужского населения в меньшей степени. Возможно, мужчины в умеренной степени контактируют с разнообразными техногенными поллютантами, а кумуляция последних в организме происходит постепенно. Среди этих техногенных поллютантов присутствуют известные канцерогены и аллергены – Ni, As, V, Pb, Cr, оказывающие отрицательное действие на системы выделения, кожу, нервную систему, включая её периферическую часть. Наличие соединений данных элементов в волосах обследуемых, возможно, связано с наличием на территории Кировской области металлургических и металлообрабатывающих производств [16]. Что касается мышьяка, то превышение нормативов по его содержанию в почве отмечается для большинства мониторинговых точек этого региона Поволжья. Среднеобластные концентрации соединений этого элемента в почве соответствуют фоновым значениям средней полосы России, поэтому его повышенное содержание в почве можно считать геохимической особенностью региона [18]. Известно, что Кировская область относится к геохимическим провинциям, в которых фоновое содержание мышьяка превышает ПДК в среднем в 2,2 раза [16].

Сравнение со средними для ПФО показателями, проведённое для женской части популяции, выявило максимальные показатели частоты избытка соединений Fe и I (21 и 14%, ранг 1). Также были относительно повышены уровни содержания в волосах V и Co (3 и 5%, ранг 2), Cr и Mg (10 и 39%, ранг 3), Al (12%, ранг 4). Если избыток железа и бора, как отмечалось выше, можно связать с высоким содержанием в питьевой воде ионов Fe (II) – Fe (III), а также растворимых соединений бора [2, 16], то обнаруженное превышение фонового значения содержания йода требует более глубокого изучения и анализа как обеспеченности населения соединениями этого микроэлемента, так и особенностями патологии щитовидной железы. Кировская область традиционно относится к территориям, эндемичным по зобу и йоддефицитным заболеваниям [19]. В работе Платоновой Н.М. [20] отмечается, что распространённость зоба у детей в данном регионе по состоянию на 2010 г. составляла 20,1% и демонстрировала устойчивую тенденцию к росту. Возможное расхождение между полученными нами результатами и отмечаемой частотой встречаемости йоддефицитных заболеваний является свидетельством правотерности ранее выдвинутой гипотезы об антагонизме пары бор – йод [21–24], в связи с чем можно предположить, что избыток бора в питьевой воде Кировской области нарушает обмен соединений йода в организме и ухудшает функционирование щитовидной железы.

Максимальную частоту избыточной аккумуляции ванадия и марганца (4 и 46%, ранг 1) в сравнении с остальными субъектами ПФО обнаруживают мальчики, проживающие в Кировской области, что может в ряде случаев повышать риск отрицательного влияния на психическое развитие детей. В то же время для данной группы обследуемых характерно заниженное содержание меди (в 72% случаев). Этот результат согласуется с ранее отмеченным нами антагонизмом для пары элементов Mn/Cu, что может отразиться на созревании ЦНС, миелинизации и связанных с этим патологических состояний [25]. Дефицит меди может отрицательно повлиять на синтез тироксина [26]. В частности, показано, что показатели заболеваемости эпилепсией в Кировской области в 2014–2015 гг. значительно превышали таковые по России [27]. Также в волосах мальчиков в возрасте 3–15 лет наблюдается рост содержания макроэлементов: калия и натрия (59 и 72%, ранг 1), магния (41%, ранг 2). Соединения железа, бора, хрома и лития незначительно превышают фоновые риски гиперэлементозов (50; 13; 33; 7% соответственно, ранг 4). Возможно, избыток B, V, Cr, Li, а также Fe и Mg объясняется биогеохимическими особенностями Кировской области.

Девочки из этого региона в сравнении со сверстницами из других субъектов ПФО отличаются максимальной частотой превышения верхнего уровня содержания в волосах магния, марганца и ванадия (72; 58, 8% соответственно, ранг 1), а также кальция (47%, ранг 2). Менее выражены отличия по риску избытков хрома (26%, ранг 3) и железа (43%, ранг 4), что, скорее, является хорошим признаком.

В силу того, что дети не принимают участия в производстве, не водят автомобильный транспорт и т. д., их «элементный портрет» лучше отражает типичный средний уровень поступления микронутриентов с пищей и водой. Волосы детей в большей, чем у взрослых, степени являются биологическим субстратом, элементный состав которого указывает на экологический и социально-бытовой факторы, качество продуктов и развитие системы здравоохранения. Исходя из вышесказанного, следует сделать вывод о том, что многие гиперэлементозы, свойственные мальчикам, которые повторяются и у взрослых, являются индикатором антропобиохимического статуса Кировской области.

Из приведённых выше данных следует, что общая заболеваемость жителей Кировской области обнаруживает прямую зависимость с обеспеченностью населения региона фосфором. Нарушение обмена этого же элемента у взрослых может выступать как фактор, благоприятствующий росту онкологической заболеваемости. Уровень заболеваемости взрослых в исследуемом регионе болезнями системы кровообращения, вероятно, существенно зависит от нарушения кальциево-фосфорного обмена. С помощью своевременной коррекции дефицита цинка и селена, а также дисбаланса натрия у детей можно повлиять на рост в будущем болезней, сопровождающихся повышением кровяного давления.

Наиболее выраженная зависимость обнаружена между особенностями элементного статуса и его нарушениями и заболеваемостью болезнями системы кровообращения, органов дыхания, пневмониями, бронхиальной астмой у взрослых, патологией щитовидной железы из-за дисбаланса бора, йода, меди и марганца [17, 28, 29]. При этих заболеваниях, как правило, отмечаются избытки токсикантов: соединений Sn, Hg, Al – при болезнях органов дыхания [30], соединений Al, As, Pb – при пневмониях [31], соединений Al, Sn, Si – при бронхиальной астме [32], а на фоне дисбалансов Zn, Cu, дефицита K, Zn – болезни органов дыхания, Se – пневмонии, K, Zn – бронхиальная астма [33, 34]. То есть на рост заболеваемости болезнями органов дыхания, пневмониями и бронхиальной астмой можно повлиять, снизив нагрузку на население экотоксикантами As, Al, Sn, Hg и восполнив дефицит K, Zn, Se, что вполне реально выполнить путём проведения целенаправленных профилактических мероприятий. Экологический компонент (проявляющийся в загрязнении окружающей среды соединениями свинца и алюминия) может являться одним из негативных факторов, предрасполагающих к росту заболеваемости сахарным диабетом I типа в изучаемом регионе. В то же время дефицит фосфора и избыточное накопление или дисбаланс селена могут повышать уровень заболеваемости сахарным диабетом II типа.

В то же время для получения более полной информации об элементном статусе жителей региона в дальнейшем необходимо проведение исследований, направленных на оценку и других субстратов, в том числе крови и мочи. В частности, показано, что сочетание биосубстратов, обладающих различной индикаторной способностью, а также других маркеров обмена микроэлементов является наиболее полноценным подходом к оценке элементного статуса организма [35].

Заключение

Элементный статус взрослых жителей Кировской области отличается высокой распространённостью избыточного содержания в волосах соединений B, As, Ni, Co, Cr, Mg, Pb, Mn, V, Se, I, Zn, K на фоне менее распространённых

гипоэлементозов Р и Си. Для мальчиков и девочек чаще встречаются гиперэлементозы по V, Mg, Mn, реже – по Na, K, Ca, B, Fe, Li. Так же как и у более взрослого населения, у детей наиболее часто встречается дефицит соединений меди. Согласно полученным данным, мужчины имеют типичный элементный статус в сравнении с другими областями и республиками ПФО, тогда как в случае лиц женского пола и детей отличия выражены более четко. Для жителей Кировской области характерно в основном накопление в

волосах эссенциальных и условно эссенциальных элементов, редко – токсичных (As, Pb, Al). Вероятно, данный факт объясняется тем, что при формировании элементного портрета в данном случае существенное влияние оказывают климатические и биогеохимические, а не антропогенные факторы. В связи с этим, по нашему мнению, для данного региона медицинская коррекция является наиболее правильной стратегией регулирования дисбаланса микро- и макроэлементов.

Литература (пп. 7–10, 17, 21–24, 26, 29–35 см. References)

1. Зайцева Н.В., Селюнина С.В., Цинкер М.Ю. Оценка влияния санитарно-гигиенических и социально-экономических факторов среды обитания на показатели онкозаболеваемости и онкосмертности населения Кировской области. *Здоровье населения и среда обитания*. 2014; 225 (6): 4–6.
2. Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Кировской области в 2011 году». Киров; 2012.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2010 г». М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации; 2011.
4. Скальный А.В., Быков А.Т. *Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине*. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ; 2003.
5. Олейникова Е.В. *Экологическая эпидемиология – научно-практическое направление в диагностике и экспертизе экологозависимой патологии*: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб.; 2009.
6. Иванов С.И., Подунова Л.Г., Скачков В.Б., Тутельян В.А., Скальный А.В., Демидов В.А. и соавт. *Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрией: методические указания*. МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03. М.: ФЦГСЭН МЗ РФ; 2003.
11. Реброва О.Ю. *Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA*. М.: МедиаСфера; 2003. 312 с.
12. Скальная М.Г., Скальный А.В., Демидов В.А., Грабеклис А.Р., Лобанова Ю.Н. Установление границ физиологического (нормального) содержания некоторых химических элементов в волосах жителей г. Москвы с применением центильных шкал. *Вестник С.-Петербургской ГМА им. И.И. Мечникова*. 2004; 4: 82–8.
13. Скальный А.В., Лакарова Е.В., Кузнецов В.В., Скальная М.Г. *Аналитические методы в биоэлементологии*. СПб.: Наука; 2009. 264 с.
14. Агаджанян Н.А., Скальный А.В., Березкина Е.С., Демидов В.А., Грабеклис А.Р., Скальная М.Г. Референтные значения содержания химических элементов в волосах взрослых жителей Республики Татарстан. *Экология человека*. 2016; 4: 38–44.
15. 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): 533–8.
16. Скальный А.В., Киселев М.Ф. *Элементный статус населения России. Элементный статус населения Приволжского и Уральского федеральных округов*. СПб.: Медкнига «ЭЛБИ-СПб»; 2013. 575 с.
18. Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я., Дабах Е.В. Организация экологического мониторинга окружающей природной среды в районе объекта уничтожения химического оружия в Кировской области. *Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*. 2008; 6: 6–12.
19. Сапожникова И.Е., Немцов Б.Ф. Йододефицитные заболевания: причины и следствия. *Вятский медицинский вестник*. 2007; 2–3: 27–32.
20. Платонова Н.М. Йодный дефицит: современное состояние проблемы. *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2015; 11 (1): 12–21.
25. Истомин А.А., Жаворонков А.А., Скальный А.В., Алексеев В.П. Особенности элементного статуса якутов в эндемическом очаге виллойского энцефаломиелимита. *Микроэлементы в медицине*. 2002; 3 (3): 33–4.
27. Толмачев П.А., Наймушина Н.В., Мильчаков Д.Е., Колосов А.Е. Сравнительная характеристика заболеваемости эпилепсией в Российской Федерации на примере Кировского, Пензенского и Ульяновского центров Приволжского федерального округа. *Евразийское научное объединение*. 2017; 1 (5): 64–6.
28. Скальная А.А., Бердалин А.Б., Кабки Б.Х., Жегалова И.В. Взаимосвязь между клиническими параметрами и элементным статусом детей с аутизмом до и после лечения. *Микроэлементы в медицине*. 2017; 18 (4): 41–8.

References

1. Zaitseva N.V., Selunina S.V., Tsinker M.Yu. Assessment of the impact of sanitary-hygienic and socio-economic factors of the environment on the indicators of cancer incidence and oncological mortality of the Kirovskaya region's population. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya [Public Health and Life Environment]*. 2014; 225 (6): 4–6. (in Russian)
2. State report "On the sanitary and epidemiological situation in the Kirovskaya region in 2011" [O sanitarno-epidemiologicheskoi obstanovke v Kirovskoy oblasti v 2011 godu]. Kirov; 2012. (in Russian)
3. State report on environment health and protection in the Russian Federation in 2010. Moscow: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation; 2011. (in Russian)
4. Skalny A.V., Bykov A.T. *The ecological and physiological aspects of the application of macroelements and trace elements in restorative medicine [Ekologo-fiziologicheskiye aspekty primeneniya makro- i mikroelementov v vosstanovitel'noy meditsine]*. Orenburg: RIK GOU OGU; 2003. (in Russian)
5. Oleinikova E.V. *Ecological epidemiology – a scientific and practical direction in the diagnosis and examination of ecologically dependent pathology*. Autoabstract of Diss. Saint Petersburg; 2009. (in Russian)
6. Ivanov S.I., Podunova L.G., Skachkov V.B., Tutel'yan V.A., Skalny A.V., Demidov V.A. *Determination of chemical elements in biological media and preparations using atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma and mass spectrometry: guidelines (MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03) [Opredeleniye khimicheskikh elementov v biologicheskikh sredakh i preparatakh metodami atomno-emitsonnoy spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy i mass-spektrometriey: metodicheskiye ukazaniya]*. Moscow: FTSGSEN MZ RF; 2003. (in Russian)
7. Rao K.S., Balaji T., Rao T.P., Babu Y., Naidy G.R.K. Determination of iron, cobalt, nickel, manganese, zinc, copper, cadmium and lead in human hair by inductively-coupled plasma atomic emission spectrometry. *Spectrochim Acta B*. 2002; 8: 1333–8.
8. Rodushkin I., Axelsson M.D. Application of double focusing sector field ICP-MS for multielemental characterization of human hair and nails. *Sci Total Environ*. 2003; 1–3: 23–39.
9. Nardi E.P., Evangelista F.S., Tormen L., Saint T.D., Curtius A.J., de Sousa S.S. et al. The use of inductively-coupled mass spectrometry (ICP-MS) for the determination of toxic and essential elements in different types of food samples. *Food Chem*. 2009; 3: 727–32.
10. Griboff J., Wunderlin D.A., Monferran M.V. Metals, As and Se determination by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) in edible fish collected from three eutrophic reservoirs. Their consumption represents a risk for human health? *Microchem J*. 2017; 130: 236–44.
11. Rebrova O.Yu. *Medical Data Statistical analysis. Application of the STATISTICA software package [Statisticheskii analiz medichinskikh dannikh. Primeneniye paketa prikladnykh program STATISTICA]*. Moscow: MediaSfera; 2003. 312 p. (in Russian)
12. Skalnaya M.G., Skalny A.V., Demidov V.A., Grabeklis A.R., Lobanova Yu.N. Establishment of the boundaries of the physiological (normal) content of certain chemical elements in the hair of Moscow residents using centile scales. *Vestnik S.-Peterburgskoi GMA im. I.I. Mchnikova*. 2004; 4: 82–8. (in Russian)
13. Skalny A.V., Lakarova E.V., Kuznetsov V.V., Skalnaya M.G. *Analytical methods in bioelementology [Analiticheskiye metody v bioelementologii]*. Saint Petersburg: Nauka; 2009. 264 p. (in Russian)
14. Agaganyan N.A., Skalny A.V., Berzskina E.S., Demidov V.A., Grabeklis A.R., Skalnaya M.G. The reference values of the chemical elements' content in hair of the adult residents of Tatarstan Republic. *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. 2016; 4: 38–44. (in Russian)
15. Skalny A.V., Berzskina E.S., Demidov V.A., Grabeklis A.R., Skalnaya M.G. Ecological and physiological assessing of Republic of Bashkortostan adult population' elemental status of. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2016; 95 (6): 533–8. (in Russian)

16. Skalny A.V., Kiselev M.F. *Elemental Status of the Russian Population. Elemental Status of the Population of the Volga and Ural Federal Districts [Elementnyy status naseleniya Rossii. Elementnyy status naseleniya Privolzhskogo i Ural'skogo federal'nykh okrugov]*. Saint Petersburg: Medkniga "ELBI-SPb"; 2013. 575 p. (in Russian)
17. Grabeklis A., Skalny A., Nechiporenko S., Lakarova E. Indicator ability of biosubstances in monitoring of moderate occupational exposure to toxic metals. *J Trace Elem Med Bio.* 2011; 25: S41–4.
18. Ashikhmina T.Y., Kantor G.Y., Dabakh E.V. Organization of environmental ecological monitoring in the district of chemical weapon's disposing in Kirov region. *Vestnik Instituta Biologii Komi nauchnogo isentra Uralskogo otdeleniya RAN.* 2008; 6: 6–12.
19. Sapozhnikova I.E., Nemtsov B.F. Iodine deficiency diseases: causes and consequences. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik.* 2007; 2–3: 27–32. (in Russian)
20. Platonova N.M. Iodine deficiency: current state of problem. *Klinicheskaya i eksperimentalnaya tireoidologiya.* 2015; 11 (1): 12–21. (in Russian)
21. Popova E.V., Tinkov A.A., Ajsuvakova O.P., Skalnaya M.G., Skalny A.V. Boron—A potential goiterogen? *Med Hypotheses.* 2017; 104: 63–7.
22. Nielsen F.H., Penland J.G. Boron supplementation of peri-menopausal women affects boron metabolism and indices associated with macromineral metabolism, hormonal status and immune function. *J Trace Elem Exp Med.* 1999; 12 (3): 251–61.
23. Kudabayeva K.I., Koshmaganbetova G.K., Mickuviene N., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Skalny A.V. Hair trace elements are associated with increased thyroid volume in schoolchildren with goiter. *Biol Trace Elem Res.* 2016; 174 (2): 261–6.
24. Weir R.J., Fisher R.S. Toxicologic studies on borax and boric acid. *Toxicol Appl Pharm.* 1972; 23 (3): 351–64.
25. Istomin A.A., Zhavoronkov A.A., Skalny A.V., Alekseev V.P. Special aspects of the elemental status of the Yakuts in the endemic region of Vilyui encephalomyelitis. *Mikroelementy v meditsine [Microelements in Medicine]*. 2002; 3 (3): 33–4. (in Russian)
26. Hefnawy A.E., El-khaiat H.M., Helal M.A. Influence of Experimentally Induced Secondary Copper Deficiency on the Serum Levels Of Selenium, Thyroid Hormone and Glutathione Peroxidase in Ossimi Sheep. *Alex J Vet Sci.* 2017; 52 (1): 52–6.
27. Tolmachev P.A., Naimushina N.V., Milchakov D.E., Kolosov A.E. Comparative characteristic of epilepsy morbidity in the Russian Federation by the example of the Kirov, Pensen and Ulyanovsky centers of the Privolzhsky Federal District *Evrasiyskoye nauchnoye ob'yedineniye.* 2017; 1 (5): 64–6. (in Russian).
28. Skalnaya A.A., Berdalin A.B., Kabki B.H., Zhegalova I.V. The relationship of clinical parameters and elemental status of children with autism before and after treatment. *Mikroelementy v meditsine [Microelements in Medicine]*. 2017; 18 (4): 41–8. (in Russian)
29. Skalny A., Simashkova N., Klyushnik T., Grabeklis A., Radysh I., Skalnaya M. et al. Assessment of serum trace elements and electrolytes in children with childhood and atypical autism. *J Trace Elem Med Bio.* 2017; 43: 9–14.
30. Nunes-Silva A., Dittz D., Santana H.S., Faria R.A., Freitas K.M., Coutinho C.R. et al. The Pollutant Organotins Leads to Respiratory Disease by Inflammation: A Mini-Review. *Front Endocrinol.* 2018; 8 (369): 1–6.
31. Pandey R., Dwivedi M.K., Singh P.K., Patel B., Pandey S., Patel B. et al. Effluences of Heavy Metals, Way of Exposure and Bio-toxic Impacts: An Update. *J Chem Sci.* 2016; 6 (5): 458–75.
32. Pałczyński C., Kupczyk M. *Metal Allergy and the Lungs*. In: Chen J., Thyssen J. (eds) *Metal Allergy*. Springer, Cham; 2018.
33. Sagdic A., Sener O., Bulucu F., Karadurmus N., Özel H.E., Yamanel L. et al. Oxidative stress status and plasma trace elements in patients with asthma or allergic rhinitis. *Allergol Immunopath.* 2011; 39 (4): 200–5.
34. Berger M.M., Eggimann P., Heyland D.K., Chioldero R.L., Revely J.P., Day A. et al. Reduction of nosocomial pneumonia after major burns by trace element supplementation: aggregation of two randomised trials. *Critical Care.* 2006; 10 (6): R153.
35. Bornhorst J., Kipp A. P., Haase H., Meyer S., Schwerdtle T. The crux of inept biomarkers for risks and benefits of trace elements. *Trac-Trend Anal Chem.* 2018; 104: 183–90.