

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА  
ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА ЯРОСЛАВЛЯ

А.Л. Мазалецкая<sup>1</sup>, А.А. Скальный<sup>2</sup>, Е.П. Серебрянский<sup>3</sup>,  
А.Р. Грабеклис<sup>1</sup>, Ю.В. Зайцева<sup>1</sup>, Е.А. Флерова<sup>1,5</sup>, А.А. Тиньков<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова (ЯрГУ им. П. Г. Демидова)  
Российская Федерация, 150003, Ярославль, ул. Советская, д. 14

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов (РУДН),  
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

<sup>3</sup>ООО «Микронутриенты»,  
Российская Федерация, 105082, Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 8

<sup>4</sup>Первый Московский государственный медицинский университет  
имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет),  
Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

<sup>5</sup>Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства  
– филиал ФНЦ «ВИК имени В.Р. Вильямса»,  
Российская Федерация, 150003, Ярославль

**РЕЗЮМЕ.** Цель исследования – изучение особенностей элементного статуса взрослого населения города Ярославля.

**Материалы и методы.** Обследовано 178 взрослых жителей г. Ярославля в возрасте от 20 до 80 лет (99 мужчин и 79 женщин), не занятых в производственной сфере. Дополнительно проведено обследование 113 взрослых лиц (49 мужчин и 64 женщины), которые рассматривались в качестве группы сравнения. Определение содержания микроэлементов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

**Результаты.** При сравнении с референтными значениями установлено увеличение частоты избыточной кумуляции токсичных металлов в волосах жителей г. Ярославля свыше 10%, в первую очередь, кадмия, никеля, свинца и олова. В то же время частота превышения верхней границы референтных значений для содержания алюминия в волосах составила более 20%. На этом фоне обращает на себя внимание высокая частота низкого уровня кобальта, меди, ванадия и цинка. При сравнении полученных данных с группой сравнения установлено, что содержание алюминия, кадмия, никеля, а также олова у обследуемых из г. Ярославля выше на 30, 63, 34 и 28%. Уровень селена и цинка в волосах обследуемых из г. Ярославля оказался ниже такового в группе сравнения на 32 и 9% соответственно. Вместе с тем содержание ванадия в волосах жителей г. Ярославля отмечалось ниже соответствующих значений в группе сравнения в 2 раза. Уровень железа в волосах жителей г. Ярославля превышал соответствующие показатели группы сравнения на 31%.

**Выводы.** Взрослые жители г. Ярославля характеризуются избыточной кумуляцией алюминия, кадмия, свинца, олова и железа на фоне риска развития дефицита цинка и ванадия. Выявленные нарушения элементного статуса могут вносить значительный вклад в развитие экологически-обусловленной патологии у населения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Ярославль, Центральный федеральный округ, тяжелые металлы, микронутриенты, экопатология.

**ВВЕДЕНИЕ**

Интенсивное развитие промышленности в течение XX века существенно повысило антропогенную нагрузку металлами на окружающую среду и, как следствие, организм человека (Nriagu, 1996). При этом принципиальную значимость имеет увеличение воздействия токсичных металлов, таких как ртуть, кадмий, мышьяк и свинец, которые вследствие реализации меха-

низмов токсичности вовлечены в патогенез широкого спектра заболеваний (Jaishankar et al., 2014). Одним из механизмов токсического действия тяжелых металлов является их антагонизм с ионами эссенциальных элементов и формирование их дефицита (Maret, Moulis, 2013). Обеспеченность организма эссенциальными микроэлементами является значительным фактором поддержания здоровья человека вследствие их

\* Адрес для переписки:  
Тиньков Алексей Алексеевич  
E-mail: tinkov.a.a@gmail.com

роли в функционировании органов и систем (Skalnaya, Skalny, 2018). В связи с этим оценка элементного статуса организма, включающая определение уровня как эссенциальных, так и токсичных микроэлементов позволяет сформировать представление о комплексных взаимоотношениях химических элементов в организме и их влиянии на здоровье.

Вследствие значительной вариабельности климатогеографических и геохимических факторов, а также особенностей в развитии и структуре промышленности, элементный статус населения разных регионов характеризуется существенными различиями (Freeland-Graves et al., 2015). В соответствии с ролью микроэлементов в функционировании организма, результаты эпидемиологических исследований продемонстрировали взаимосвязь элементного статуса не только с развитием различных заболеваний, но и интегральными демографическими показателями, такими как рождаемость и смертность (Агаджанян и др., 2013). В этой связи оценка элементного статуса населения различных регионов является перспективным направлением не только биомониторинга, но и практического здравоохранения (Скальный, 2018).

Результаты ранее проведенных исследований продемонстрировали, что Ярославская область и непосредственно г. Ярославль характеризуются высоким риском загрязнения окружающей среды токсичными металлами (Волкова, Волошина, 2021), что в значительной степени определяет высокую нагрузку металлов на организм жителей региона (Еремейшвили, Фираго, 2011). Более того, в ходе обследования жителей Ярославской области, проведенного в рамках Федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации на 2009–2014 годы», установлено, что Ярославская область является одним из регионов, характеризующихся наиболее высоким риском развития дисэлементозов в Центральном федеральном округе (Бонитенко и др., 2011).

Цель исследования – изучение особенностей элементного статуса взрослого населения города Ярославля.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Исследование проведено в соответствии с этическими принципами, установленными в Хельсинкской декларации (1964 г.) и ее последующих дополнениях (2013 г.). Протокол иссле-

дования одобрен Локальным этическим комитетом.

В ходе работы проведено обследование 178 взрослых жителей г. Ярославля в возрасте от 20 до 80 лет (99 мужчин и 79 женщин), не занятых в производственной сфере. Критериями исключения являлись работа на промышленных предприятиях, проживание в непосредственной близости от индустриальных объектов, курение (в том числе в прошлом), наличие металлических имплантов, наличие острых и хронических заболеваний, а также травм, злоупотребление алкоголем, особенности питания (вегетарианство, сыроедение и др.).

Оценку элементного статуса осуществляли на основе анализа содержания химических элементов в волосах, которые являются информативным индикаторным биосубстратом, отражающим состояние обмена микроэлементов в организме при проведении эпидемиологических исследований (Kempson, Lombi, 2011). Анализ полученных данных проводили сравнением полученных данных с референтными значениями содержания химических элементов в волосах, рассчитанных в соответствии с рекомендациями ИЮПАК (Skalny et al., 2015a,b), что позволяет адекватно интерпретировать данные о частоте нарушений элементного статуса (Dongarra et al., 2011). Помимо сравнения с референтными значениями, выполняли сравнение данных о содержании микроэлементов в волосах жителей г. Ярославля с соответствующими показателями у 113 взрослых жителей г. Зеленограда (Зеленоградский административный округ, Москва) (49 мужчин и 64 женщины), которые рассматривались в качестве группы сравнения городского населения, не подверженного выраженному влиянию городской промышленности.

Для анализа отбирали образцы проксимальных прядей волос с затылочной части головы в количестве 0,05–0,1 г. Содержание токсичных и эссенциальных микроэлементов в волосах определяли после их микроволнового разложения в системе Berghof Speed-Wave-4 DAP-40 (Berghof Products + Instruments GmbH, 72800 Eningen, Germany) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре NexION 300D (PerkinElmer Inc., Shelton, CT, США). Контроль качества осуществляли с использованием стандартных референтных образцов волос (GBW09101, Shanghai Institute of Nuclear Research, Shanghai, Китай).

Статистический анализ полученных данных выполняли с использованием программного пакета Statistica 10.0 для Windows (StatSoft, США). В связи с отсутствием нормального распределения данных о содержании химических элементов в волосах, описательные статистики включали медиану и соответствующие значения 25–75 перцентильного интервала. Сравнительный анализ проводили с использованием непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни при уровне достоверности  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При обследовании взрослого населения г. Ярославля выявлены значительные половые особенности элементного статуса. При изучении содержания токсичных металлов в волосах жителей установлено, что уровень алюминия в волосах женщин превышал соответствующие показатели у мужчин на 34%. Содержание олова в волосах женского населения оказалось более чем вдвое выше такового в группе сравнения. Со-

держание кадмия и свинца в волосах отмечалось максимальным у мужчин, превышая соответствующие показатели у женщин более чем в 2,5 и 2,6 раза соответственно. Помимо этого, мужское население г. Ярославля также характеризовалось на 10% более интенсивной кумуляцией мышьяка в волосах по сравнению с обследуемыми женщинами (табл. 1).

В дальнейшем были изучены паттерны кумуляции эссенциальных микроэлементов в волосах взрослых жителей г. Ярославля (табл. 2). Установлено, что уровни кобальта, железа и марганца в волосах женщин превышали таковые у мужчин на 60, 20 и 80% соответственно. Также обследуемые мужского пола характеризовались на 31, 17 и 42% более высоким содержанием хрома, кремния и ванадия в волосах по сравнению с женщинами, проживающими в г. Ярославле. Стоит отметить, что уровень селена в волосах женщин выше такового у мужчин на 22%, однако данные различия не достигали уровня статистической значимости.

Таблица 1. Сравнительный анализ содержания токсичных микроэлементов в волосах мужчин и женщин, проживающих в г. Ярославле (мкг/г)

Элемент	Женщины	Мужчины	<i>p</i> -value
Al	8,43 (4,512–13,372)	6,28 (4,582–9,791)	0,093
As	0,021 (0,011–0,025)	0,023 (0,021–0,044)	< 0,001*
Cd	0,0086 (0,0053–0,044)	0,0218 (0,0131–0,0272)	0,002*
Hg	0,395 (0,227–0,594)	0,446 (0,203–0,82)	0,397
Ni	0,238 (0,154–0,427)	0,22 (0,166–0,32)	0,569
Pb	0,222 (0,12–0,343)	0,587 (0,307–1,247)	< 0,001*
Sn	0,22 (0,073–0,923)	0,096 (0,07–0,157)	0,003*

Примечание: данные представлены в виде медианы и границ межквартильного интервала; \* – достоверность различий согласно *U*-критерию Манна–Уитни при  $p < 0,05$

Таблица 2. Сравнительный анализ содержания эссенциальных микроэлементов в волосах мужчин и женщин, проживающих в г. Ярославле (мкг/г)

Элемент	Женщины	Мужчины	<i>p</i> -value
Co	0,016 (0,009–0,028)	0,010 (0,007–0,017)	0,001*
Cr	0,255 (0,074–0,508)	0,334 (0,163–0,448)	0,034*
Cu	11,67 (9,73–14,75)	12,11 (10,03–20,11)	0,155
Fe	21,86 (12,48–41,65)	18,24 (12,86–24,86)	0,039*
I	0,48 (0,188–1,017)	0,292 (0,15–0,84)	0,233
Li	0,013 (0,006–0,02)	0,012 (0,008–0,016)	0,832
Mn	0,836 (0,518–2,249)	0,465 (0,338–0,785)	< 0,001*
Se	0,377 (0,264–0,478)	0,31 (0,261–0,392)	0,058
Si	18,4 (12,93–24,44)	21,52 (17,48–25,61)	0,018*
V	0,012 (0,007–0,021)	0,017 (0,012–0,031)	< 0,001*
Zn	169,5 (137,2–212,3)	171,2 (145–196,6)	0,788

Примечание: см. табл. 1.

Наряду с оценкой абсолютного содержания эссенциальных и токсичных микроэлементов в волосах взрослых жителей г. Ярославля, проведено сравнение результатов исследования с существующими референтными значениями. Полученные данные свидетельствуют о значительно более высокой частоте случаев превышения верхней границы референтного интервала для содержания алюминия, кадмия и олова у женщин по сравнению с мужчинами. В свою очередь, частота случаев превышения референтных интервалов содержания ртути и свинца у мужчин превышала таковую у женщин более чем в 2 и 5 раз соответственно (табл. 3).

Значительные различия отмечены и в частоте отклонения содержания эссенциальных микроэлементов в волосах мужчин и женщин, проживающих в г. Ярославле (табл. 4). В частности,

относительное количество случаев снижения уровня железа и цинка в волосах женщин было более чем вдвое больше, чем соответствующие показатели у женщин. Частота низких значений содержания хрома и ванадия в волосах женщин превышала таковую у мужчин практически в 12 и 2 раза соответственно. Напротив, частота превышений референтных значений содержания в волосах железа, марганца и селена была более высокой у обследуемых женщин, превышая соответствующие значения у мужчин более чем в 3, 6 и 2 раза.

При сравнении данных о содержании исследуемых микроэлементов в общей когорте с референтными значениями выявлено увеличение частоты избыточной кумуляции токсичных металлов в волосах жителей Ярославля свыше 10%, в первую очередь, кадмия, никеля, свинца и олова (табл. 5).

**Таблица 3. Частота отклонений данных о содержании токсичных микроэлементов в волосах женщин и мужчин, проживающих в г. Ярославле, от референтных значений (%)**

Элемент	Женщины		Мужчины	
	Ниже	Выше	Ниже	Выше
Al	13,92	31,65	8,08	17,17
As	18,99	0,00	0,00	5,05
Cd	30,38	20,25	6,06	6,06
Hg	10,13	7,59	19,19	16,16
Ni	25,32	10,13	18,75	10,42
Pb	46,84	3,80	6,06	19,19
Sn	27,85	18,99	35,42	0,00

Примечание: данные представлены в виде относительного количества (%) случаев с отклоняющимся от референтных значений результатом.

**Таблица 4. Частота отклонений данных о содержании эссенциальных микроэлементов в волосах женщин и мужчин, проживающих в г. Ярославле, от референтных значений (%)**

Элемент	Женщины		Мужчины	
	Ниже	Выше	Ниже	Выше
Co	26,58	10,13	43,43	0,00
Cr	24,05	25,32	2,02	22,22
Cu	53,16	5,06	46,46	13,13
Fe	12,66	39,24	6,25	12,50
Li	37,97	11,39	27,08	12,50
Mn	6,33	30,38	19,19	5,05
Se	0,00	24,05	0,00	12,12
V	45,57	7,59	18,18	5,05
Zn	24,05	6,33	15,15	5,05

Примечание: см. табл. 3.

Таблица 5. Частота отклонений данных о содержании эссенциальных  
и токсичных микроэлементов в волосах жителей г. Ярославля от референтных значений (%)

Элемент	Референтный интервал (Skalny et al., 2015a, b), мкг/г	Отклонения	
		Ниже	Выше
Al	2,913–11,627	10,7	23,6
As	0,010–0,078	8,4	2,8
Cd	0,006–0,056	16,9	12,4
Hg	0,168–1,189	15,2	12,4
Ni	0,159–0,704	22,8	10,2
Pb	0,187–1,389	24,2	12,4
Sn	0,076–1,009	30,7	11,8
Co	0,009–0,073	36,0	4,5
Cr	0,07–0,50	11,8	23,6
Cu	11,8–29,2	49,4	9,6
Fe	9,6–31,5	10,2	29,1
Li	0,009–0,040	33,9	11,8
Mn	0,29–1,76	13,5	16,3
Se	0,093–0,482	0,0	17,4
V	0,011–0,069	30,3	6,2
Zn	134,7–301,9	19,1	5,6

Примечание: см. табл. 3.

В то же время частота превышения верхней границы референтных значений для содержания алюминия в волосах составила более 20%. На этом фоне обращает на себя внимание высокая частота низких уровней кобальта, меди, ванадия и цинка. Данные наблюдения в комплексе свидетельствуют о высоком риске развития нарушений обмена химических элементов с преимущественным избытком токсичных металлов на фоне дефицита эссенциальных микроэлементов.

В этой связи для уточнения характера нарушений элементного статуса взрослого населения г. Ярославля проведен сравнительный анализ данных показателей с результатами обследования взрослых, проживающих в г. Зеленограде (Зеленоградский административный округ). Выбор данного населенного пункта в качестве объекта сравнения продиктован рядом причин. С одной стороны, г. Зеленоград расположен в сходной климато-географической зоне в незначительном удалении от г. Ярославля (300 км). С другой стороны, промышленность г. Зеленограда представлена в основном предприятиями, работающими в области электроники и микроэлектроники, тогда как объекты тяжелой промышленности отсутствуют. Вместе с тем г. Зеленоград, как один из административных округов Москвы, имеет обширную городскую инфра-

структуру, в том числе и интенсивность дорожного движения.

Результаты проведенного исследования продемонстрировали значительные различия в особенностях кумуляции токсичных металлов в волосах жителей Ярославля и Зеленограда (табл. 6). В частности, содержание алюминия, кадмия, никеля, а также олова у обследуемых из г. Ярославля превышало соответствующие показатели жителей г. Зеленограда на 30, 63, 34 и 28%. Несмотря на то, что уровень ртути в волосах обследуемых из г. Ярославля был выше такового в группе сравнения на 27%, данные различия не являлись статистически значимыми.

При анализе содержания эссенциальных микроэлементов установлено (табл. 7), что уровень селена и цинка в волосах обследуемых из г. Ярославля ниже такового в биосубстратах взрослых жителей г. Зеленограда на 32 и 9% соответственно. Содержание ванадия в волосах жителей г. Ярославля ниже соответствующих значений в группе сравнения в 2 раза. Единственным эссенциальным элементом, кумуляция которого была в большей степени характерна для лиц, проживающих в г. Ярославле, оказалось железо, уровень которого в волосах данных лиц превышал соответствующие показатели у жителей г. Зеленограда на 31%.

Таблица 6. Содержание токсичных микроэлементов в волосах взрослых жителей г. Ярославля и Зеленограда (мкг/г)

Элемент	г. Зеленоград	г. Ярославль	p-value
Al	5,149 (3,645–8,396)	6,675 (4,582–11,081)	0,003*
As	0,022 (0,021–0,047)	0,021 (0,021–0,032)	0,081
Cd	0,0105 (0,0053–0,0224)	0,0171 (0,0081–0,028)	< 0,001*
Hg	0,341 (0,196–0,634)	0,433 (0,226–0,722)	0,152
Ni	0,174 (0,12–0,344)	0,233 (0,166–0,401)	0,006*
Pb	0,348 (0,18–0,574)	0,351 (0,199–0,779)	0,134
Sn	0,093 (0,056–0,194)	0,119 (0,071–0,356)	0,003*

Примечание: данные представлены в виде медианы и границ межквартильного интервала; \* – достоверность различий согласно U-критерию Манна–Уитни при  $p < 0,05$

Таблица 7. Содержание эссенциальных микроэлементов в волосах взрослых жителей г. Ярославля и Зеленограда (мкг/г)

Элемент	г. Зеленоград	г. Ярославль	p-value
Co	0,01 (0,007–0,017)	0,012 (0,007–0,021)	0,064
Cr	0,285 (0,139–0,467)	0,305 (0,118–0,462)	0,915
Cu	11,9 (10,32–16,87)	11,82 (9,87–16,8)	0,655
Fe	15,23 (10,99–21,78)	19,9 (12,76–34,75)	< 0,001 *
I	0,426 (0,15–1,184)	0,382 (0,158–0,957)	0,929
Li	0,013 (0,006–0,023)	0,013 (0,006–0,019)	0,674
Mn	0,617 (0,292–1,015)	0,578 (0,381–1,249)	0,183
Se	0,41 (0,309–0,484)	0,32 (0,264–0,419)	0,002 *
Si	18,73 (13,25–29,52)	20,16 (14,86–25,42)	0,630
V	0,033 (0,013–0,074)	0,016 (0,009–0,026)	< 0,001 *
Zn	187,7 (166,6–225)	170,7 (141,6–205,9)	< 0,001 *

Примечание: см. табл. 6.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, результаты проведенного исследования продемонстрировали, что взрослое население г. Ярославля характеризуется риском избыточного воздействия токсичных металлов, в первую очередь, алюминия, кадмия, свинца и олова, а также гиперкумуляции железа, на фоне повышенного риска развития дефицита эссенциальных микроэлементов, таких как цинк и ванадий.

Наблюдаемые особенности элементного статуса взрослого населения г. Ярославля прежде всего могут быть обусловлены загрязнением окружающей среды токсичными металлами. В частности, отмечается, что антропогенное загрязнение объектов окружающей среды г. Ярославля (снег, почва) тяжелыми металлами, такими как кадмий и свинец, в значительной степени обуславливает повышение уровня данных металлов в организме человека (Еремейшвили, Фираго, 2011).

Результаты ранее проведенных экомониторинговых исследований продемонстрировали риск избыточной кумуляции токсичных металлов в объектах окружающей среды. Так, показано, что не только территория промышленных зон или прилегающая к оживленным трассам, но и городские парки г. Ярославля характеризуются высоким уровнем загрязнения почв тяжелыми металлами, в первую очередь, свинцом и мышьяком (Волкова, Волошина, 2021). При этом с 1997 г. наблюдалось увеличение валового содержания мышьяка в почвах Ярославской области (Соловьев, 2008). Наряду с выявленным превышением фоновых значений содержания цинка, железа, кадмия, свинца и мышьяка в почвах Заволжского района г. Ярославля также отмечается достоверная корреляция между уровнем металлов в почвах и их содержанием в растительном сырье, что было в наибольшей степени выражено

для свинца и кадмия (Сенченко, Степанова, 2021). Вместе с тем в образцах воды Верхней волги на территории трех регионов, в том числе и Ярославской области, наблюдалось превышение ПДК по свинцу, мышьяку, алюминию, железу и меди, что связано с функционированием расположенных промышленных предприятий (Мейсурова, Лопина, 2018). В то же время содержание ртути в почвах, водах и растительной продукции Ярославской области может рассматриваться как благополучное (Соловьев, Громов, 2011), что соответствует отсутствию выраженного увеличения уровня данного металла в волосах обследуемых.

Избыточное воздействие металлов на окружающую среду и, следовательно, организм человека, является следствием увеличения антропогенных выбросов металлополлютантов в результате активного развития промышленности. Согласно официальному portalу г. Ярославля, основными отраслями промышленности города являются химическая и нефтехимическая промышленность, фармацевтическая промышленность, машиностроение, резинотехническое производство и пищевая промышленность. Результаты ранее проведенных исследований продемонстрировали, что часть данных производств может быть источником загрязнения окружающей среды металлами. Так, установлено, что переработка и транспортировка нефтепродуктов является источником ртути, кадмия, мышьяка, свинца, меди и никеля в почвах в зоне функционирования нефтехимического комплекса (Wang et al., 2020). Отложение свинца, хрома и никеля в донных отложениях также ассоциировано с функционированием нефтехимической промышленности (Sun et al., 2019).

Наличие предприятий машиностроения может вносить существенный вклад в загрязнение городской окружающей среды тяжелыми металлами (Арляпов и др., 2015). Несмотря на то, что фармацевтическая промышленность не является ведущим источником антропогенных выбросов металлов, отмечается, что увеличение уровня ртути и кадмия в почвах может быть связано с функционированием в том числе и фармацевтической промышленности (Wang et al., 2019). Данное наблюдение согласуется с указаниями на высокое содержание токсичных металлов в отходах фармацевтических предприятий наряду с

широким спектром органических поллютантов (Rana et al., 2017). В то же время существует и возможность переноса металлополлютантов из соседних регионов (Luo et al., 2014).

Значимость выявленных рисков избыточного воздействия токсичных металлов на организм жителей г. Ярославля обусловлена ролью данных поллютантов в развитии широкого спектра заболеваний, включающих сердечно-сосудистую патологию и онкозаболевания (Jaishankar et al., 2014).

Интересным наблюдением является высокая частота низкого уровня цинка в волосах взрослых жителей г. Ярославля как при сравнении с референтными значениями, так и в сравнении с контрольной группой. Данное наблюдение может быть обусловлено геохимическими условиями, такими как низкое содержание цинка в почвах и грунтовых водах (Ковальский, 1974). С другой стороны, значительную роль в формировании дефицита цинка может играть избыток токсичных металлов, в первую очередь, кадмия и свинца, являющихся выраженным антагонистом цинка (Maret, 2017). При этом дефицит цинка может увеличивать восприимчивость организма к токсическому действию тяжелых металлов (Bernhoft, 2013).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты проведенного исследования позволили установить особенности элементного статуса взрослого населения г. Ярославля, основываясь не только на сопоставлении полученных данных с референтными значениями, но и в сравнении с контрольной группой. Установлено, что взрослые жители г. Ярославля характеризуются избыточной кумуляцией алюминия, кадмия, свинца, олова и железа, на фоне риска развития дефицита цинка и ванадия. При этом избыточная кумуляция кадмия и свинца в большей степени характерна для мужчин, тогда как избыточное содержание алюминия, олова и железа более свойственно женщинам. Выявленные нарушения элементного статуса могут вносить значительный вклад в развитие экологически-обусловленной патологии у населения.

## **Финансирование**

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России, государственное задание ЯргУ, работа № 0856-2020-0008.

**ЛИТЕРАТУРА**

- Агаджанян Н.А., Скальный А.В., Детков В.Ю. Элементный портрет человека: заболеваемость, демография и проблема управления здоровьем нации. *Экология человека*. 2013; 11: 3–12.
- Арляпов В.А., Волкова Е.М., Нечаева И.А., Скворцова Л.С. Содержание тяжелых металлов в почве как индикатор антропогенного загрязнения Тульской области. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2015; 4: 194–204.
- Афтанас Л.И., Березкина Е.С., Бонитенко Е.Ю., Вареник В.И., Грабеклис А.Р., Демидов В.А., Киселев М.Ф., Нечипоренко С.П., Николаев В. А., Скальный А.В., Скальная М. Г. Элементный статус населения России. Часть 2. Элементный статус населения Центрального федерального округа. Под ред. А.В. Скального, М.Ф. Киселева. СПб: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2011; 382 с.
- Волкова И.Н., Волошина Е.Д. Химические и биологические свойства парковых почв г. Ярославля. *Современные проблемы биологии, экологии, химии и естественно-научного образования: Сборник науч. статей Всеросс. науч.-практич. конф. (г. Ярославль, 29–30 сентября 2021 г.)*. Сост.: Ю.В. Зайцева, С.В. Тарнуев. Ярославль: Ярославский гос. ун-т им. П.Г. Демидова, 2021; 32–36.
- Еремейшвили А.В., Фираго А.Л. Влияние антропогенной нагрузки на содержание тяжелых металлов в биосубстратах детей. *Экология человека*. 2011; 10: 29–33.
- Ковальский В.В. *Геохимическая экология*. М.: Наука, 1974; 298 с.
- Мейсурова А.Ф., Лопина А.В. АЭС-ИСП-анализ содержания элементов в водах бассейна верхней волги в пределах трех субъектов РФ (Тверская, Московская и Ярославская области). *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. 2018; 4: 226–241.
- Сенченко М.А., Степанова М.В. Тяжелые металлы и микроэлементы в системе «почва-растение-продукт переработки растения». *Вестник АПК Верхневолжья*. 2021; 1: 13–18.
- Скальный А.В. Оценка и коррекция элементного статуса населения-перспективное направление отечественного здравоохранения и экологического мониторинга. *Микроэлементы в медицине*. 2018; 19(1): 5–13.
- Соловьев В.М., Громов Н.Б. Агроэкологический мониторинг содержания ртути в почвах Ярославской области. *Агрехимический вестник*. 2011; 4: 21–22.
- Соловьев В.М. Мониторинг содержания мышьяка в почвах Ярославской области. *Агрехимический вестник*. 2008; 5: 11–12.
- Bernhoft R.A. Cadmium toxicity and treatment. *The Scientific World Journal*. 2013; 2013: 394652.
- Dongarrà G., Lombardo M., Tamburo E., Varrica D., Cibella F., Cuttitta G. Concentration and reference interval of trace elements in human hair from students living in Palermo, Sicily (Italy). *Environmental toxicology and pharmacology*. 2011; 32(1): 27–34.
- Freeland-Grave J.H., Sanjeevi N., Lee J.J. Global perspectives on trace element requirements. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2015; 31: 135–141.
- Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*. 2014; 7(2): 60.
- Kempson I.M., Lombi E. Hair analysis as a biomonitor for toxicology, disease and health status. *Chemical Society Reviews*. 2011; 40(7): 3915–3940.
- Luo X.S., Ip C.C.M., Li W., Tao S., Li X. D. Spatial-temporal variations, sources, and transport of airborne inhalable metals (PM 10) in urban and rural areas of northern China. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2014; 14(9): 13133–13165.
- Maret W. The bioinorganic chemistry of lead in the context of its toxicity. *Lead: its effects on environment and health*. 2017; 17: 1–20.
- Maret W., Moulis J.M. The bioinorganic chemistry of cadmium in the context of its toxicity. *Cadmium: from toxicity to essentiality*. 2013; 1–29.
- Nriagu J.O. A history of global metal pollution. *Science*. 1996; 272(5259): 223–223.
- Rana R.S., Singh P., Kandari V., Singh R., Dobhal R., Gupta S. A review on characterization and bioremediation of pharmaceutical industries' wastewater: an Indian perspective. *Applied water science*. 2017; 7(1): 1–12.
- Skalnaya M.G., Skalny A.V. Essential trace elements in human health: a physician's view. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 2018; 224.
- Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Serebryansky E.P., Demidov V.A., Lobanova Y.N., Grabeklis A.R., Berzskina E.S., Gryazeva I.V., Skalny A.A., Nikonorov A.A. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population. *Environmental toxicology and pharmacology*. 2015a; 40(1): 18–21.
- Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Serebryansky E.P., Demidov V.A., Lobanova Y.N., Grabeklis A.R., Berzskina E.S., Gryazeva I.V., Skalny A.A., Skalnaya O.A., Zhivaev N.G., Nikonorov A.A. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. *Environmental monitoring and assessment*. 2015b; 187(11): 1–8.
- Sun C., Zhang Z., Cao H., Xu M., Xu L. Concentrations, speciation, and ecological risk of heavy metals in the sediment of the Songhua River in an urban area with petrochemical industries. *Chemosphere*. 2019; 219: 538–545.
- Wang S., Cai L.M., Wen H.H., Luo J., Wang Q.S., Liu X. Spatial distribution and source apportionment of heavy metals in soil from a typical county-level city of Guangdong Province, China. *Science of the Total Environment*. 2019; 655: 92–101.
- Wang S., Kalkhajeh Y. K., Qin Z., Jiao W. Spatial distribution and assessment of the human health risks of heavy metals in a retired petrochemical industrial area, south China. *Environmental Research*. 2020; 188: 109661.



## SPECIFIC PATTERNS OF TRACE ELEMENT STATUS OF ADULT YAROSLAVL INHABITANTS

A.L. Mazaletskaia<sup>1</sup>, A.A. Skalny<sup>2</sup>, E.P. Serebryansky<sup>3</sup>,  
A.R. Grabeklis<sup>4</sup>, Yu.V. Zaitseva<sup>1</sup>, E.A. Flerova<sup>1,5</sup>, A.A. Tinkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>P.G. Demidov Yaroslavl State University,  
Sovetskaya str. 14, Yaroslavl, 150003, Russian Federation

<sup>2</sup> Peoples Friendship University of Russia,  
Mikluho-Maklaya str., 6, Moscow, 117198, Russian Federation

<sup>3</sup>Micronutrients Ltd., Perevedenovsky str. 13/8, Moscow, 105082, Russian Federation

<sup>4</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University),  
Trubetskaya str. 8/2, Moscow, 119991, Russian Federation

<sup>5</sup>Yaroslavl Scientific Research Center of Forage Production and Agroecology  
– branch of the Federal Scientific Center "VIK named after V.R. Williams"  
Yaroslavl 150003, Russian Federation

**ABSTRACT. Objective** – to investigate specific patterns of trace element status of adult inhabitants of Yaroslavl city.

**Materials and Methods.** A total of 178 occupationally unexposed adults aged from 20 to 80 years (99 men and 79 women) living in Yaroslavl were examined. In addition, examination of 113 adults (49 men and 64 women) living in a city with minor heavy industrial activities as a control group was performed. Assessment of hair trace element content was performed using inductively-coupled plasma mass spectrometry.

**Results.** When compared to the Russian reference values the examined subjects were characterized by increased incidence of toxic metal accumulation higher than 10% for cadmium, nickel, lead, tin, and especially aluminium (> 20%). In turn, high incidence of low hair cobalt, copper, vanadium, and zinc content was observed. Further analysis demonstrated that hair aluminium, cadmium, nickel, and tin levels in Yaroslavl residents were 30%, 63%, 34%, and 28% higher as compared to the control location. Selenium and zinc content in subjects from Yaroslavl was 32% and 9% lower than the respective values in the control group, whereas hair V content was more than 2-fold lower. At the same time, adults living in Yaroslavl were characterized by 31% higher hair iron level.

**Conclusions.** Therefore, adults living in Yaroslavl city are characterized by increased accumulation of aluminium, cadmium, lead, tin and iron, in parallel with higher risk of zinc and vanadium deficiency. The revealed alterations of trace element status may at least partially contribute to development of environmental diseases of the population.

**KEYWORDS:** Yaroslavl, Central federal district, heavy metals, micronutrients, environmental diseases.

### REFERENCES

- Agadzhanjan N.A., Skalny A.V., Detkov V.Ju. Jelementnyj portret cheloveka: zaboлеваemost', demografija i problema upravlenija zdorov'em nacii. *Jekologija cheloveka*. 2013; 11: 3–12 (in Russ.).
- Arljapov V.A., Volkova E.M., Nechaeva I.A., Skvorcova L.S. Soderzhanie tjazhelyh metallov v pochve kak indikator antropogennogo zagryznenija Tul'skoj oblasti. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2015; 4: 194–204 (in Russ.).
- Aftanas L.I., Berezkina E.S., Bonitenko E.Ju., Varenik V.I., Grabeklis A.R., Demidov V.A., Kiselev M.F., Nechiporenko S.P., Nikolaev V.A., Skalny A.V., Skalnaya M.G. Jelementnyj status naselenija Rossii. Chast' 2. Jelementnyj status naselenija Central'nogo federal'nogo okruga. Pod red. A.V. Skalnogo, M.F. Kiseleva. SPb: Medkniga «JeLBI-SPb», 2011; 382 s.
- Volkova I.N., Voloshina E.D. Himicheskie i biologicheskie svojstva parkovyh pochv g. Jaroslavlja. *Sovremennye problemy biologii, jekologii, himii i estestvenno-nauchnogo obrazovanija: Sbornik nauch. statej Vseross. nauch.-praktich. konf. (g. Jaroslavl', 29–30 sentjabrja 2021 g.)*. Sost.: Ju.V. Zajceva, S.V. Tarnuev. Jaroslavl': Jaroslavskij gos. un-t im. P.G. Demidova, 2021; 32–36 (in Russ.).
- Eremejshvili A.V., Firago A.L. Vlijanie antropogennoj nagruzki na sodержanie tjazhelyh metallov v biosubstratah detej. *Jekologija cheloveka*. 2011; 10: 29–33 (in Russ.).
- Koval'skij V.V. *Geohimicheskaja jekologija*. M.: Nauka, 1974; 298 s (in Russ.).
- Mejsurova A.F., Lopina A.V. AJeS-ISP-analiz sodержanija jelementov v vodah bassejna verhnej volgi v predelakh treh sub#ektov RF (Tverskaja, Moskovskaja i Jaroslavskaja oblasti). *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Biologija i jekologija*. 2018; 4: 226–241 (in Russ.).
- Senchenko M.A., Stepanova M.V. Tjazhelye metally i mikrojelementy v sisteme «pochva-rastenie-produkt pererabotki rastenija». *Vestnik APK Verhnevolzh'ja*. 2021; 1: 13–18 (in Russ.).
- Skal'nyj A.V. Ocenka i korrekcija jelementnogo statusa naselenija-perspektivnoe napravlenie otechestvennogo zdoravoohranjenija i jekologicheskogo monitoringa. *Mikrojelementy v medicine*. 2018; 19(1): 5–13 (in Russ.).
- Solov'ev V.M., Gromov N.B. Agrojekologicheskij monitoring sodержanija rtuti v pochvah Jaroslavskoj oblasti. *Agrohimicheskij vestnik*. 2011; 4: 21–22 (in Russ.).

- Solov'ev V.M. Monitoring sodержaniya mysh'jaka v pochvah Jaroslavskoj oblasti. *Agrohimicheskij vestnik*. 2008; 5: 11–12 (in Russ.).
- Bernhoft R.A. Cadmium toxicity and treatment. *The Scientific World Journal*. 2013; 2013: 394652.
- Dongarrà G., Lombardo M., Tamburo E., Varrica D., Cibella F., Cuttitta G. Concentration and reference interval of trace elements in human hair from students living in Palermo, Sicily (Italy). *Environmental toxicology and pharmacology*. 2011; 32(1): 27–34.
- Freeland-Grave J.H., Sanjeevi N., Lee J.J. Global perspectives on trace element requirements. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2015; 31: 135–141.
- Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*. 2014; 7(2): 60.
- Kempson I.M., Lombi E. Hair analysis as a biomonitor for toxicology, disease and health status. *Chemical Society Reviews*. 2011; 40(7): 3915–3940.
- Luo X.S., Ip C.C.M., Li W., Tao S., Li X. D. Spatial-temporal variations, sources, and transport of airborne inhalable metals (PM 10) in urban and rural areas of northern China. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2014; 14(9): 13133–13165.
- Maret W. The bioinorganic chemistry of lead in the context of its toxicity. *Lead: its effects on environment and health*. 2017; 17: 1–20.
- Maret W., Moulis J.M. The bioinorganic chemistry of cadmium in the context of its toxicity. *Cadmium: from toxicity to essentiality*. 2013; 1–29.
- Nriagu J.O. A history of global metal pollution. *Science*. 1996; 272(5259): 223–223.
- Rana R.S., Singh P., Kandari V., Singh R., Dobhal R., Gupta S. A review on characterization and bioremediation of pharmaceutical industries' wastewater: an Indian perspective. *Applied water science*. 2017; 7(1): 1–12.
- Skalnaya M.G., Skalny A.V. Essential trace elements in human health: a physician's view. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University, 2018; 224.
- Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Serebryansky E.P., Demidov V.A., Lobanova Y.N., Grabeklis A.R., Berezkina E.S., Gryazeva I.V., Skalny A.A., Nikonorov A.A. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population. *Environmental toxicology and pharmacology*. 2015a; 40(1): 18–21.
- Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., Serebryansky E.P., Demidov V.A., Lobanova Y.N., Grabeklis A.R., Berezkina E.S., Gryazeva I.V., Skalny A.A., Skalnaya O.A., Zhivaev N.G., Nikonorov A.A. Hair concentration of essential trace elements in adult non-exposed Russian population. *Environmental monitoring and assessment*. 2015b; 187(11): 1–8.
- Sun C., Zhang Z., Cao H., Xu M., Xu L. Concentrations, speciation, and ecological risk of heavy metals in the sediment of the Songhua River in an urban area with petrochemical industries. *Chemosphere*. 2019; 219: 538–545.
- Wang S., Cai L.M., Wen H.H., Luo J., Wang Q.S., Liu X. Spatial distribution and source apportionment of heavy metals in soil from a typical county-level city of Guangdong Province, China. *Science of the Total Environment*. 2019; 655: 92–101.
- Wang S., Kalkhajeh Y. K., Qin Z., Jiao W. Spatial distribution and assessment of the human health risks of heavy metals in a retired petrochemical industrial area, south China. *Environmental Research*. 2020; 188: 109661.