

DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-73-76

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОЛЬНОМ ОСТАТКЕ ВОЛОС ЧЕЛОВЕКА

© Владимир Ильич Отмахов¹, Юрий Сергеевич Саркисов²,
Алла Николаевна Павлова², Анастасия Валерьевна Обухова¹

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия;
e-mail: otmahov2004@mail.ru

² Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, e-mail: sarkisov@tsuab.ru

*Статья поступила 25 сентября 2018 г. Поступила после доработки 7 октября 2018 г.
Принята к публикации 25 ноября 2018 г.*

В феврале 2019 г. исполняется 150 лет со дня открытия Периодического закона Д. И. Менделеева. Периодические зависимости находят все большее применение в самых различных областях фундаментальных и прикладных наук. В работе впервые рассмотрены закономерности периодических зависимостей логарифма концентрации химических элементов в зольном остатке волос человека от порядкового номера. Такие зависимости для различных регионов России носят сугубо индивидуальный характер. В полной мере это касается и жителей Сибирского региона, а также прилегающих районов. Показано, что распределение химических элементов для мужчин и женщин не одинаково и имеет свои особенности, равно как и распределение среди населения различных территорий проживания. Установлено, что в существенной мере это зависит от генетических и физиологических характеристик организма, экологических условий и изменчивости среды обитания, а также перенесенных болезней и других факторов. Это означает, что для населения различных урбанизированных территорий характерно строго индивидуальное распределение биогенных элементов. Выдвинута гипотеза, что экстремумы на исследуемых кривых могут служить своеобразным кодом данной местности, отражающим их взаимосвязь с различными факторами генетической и экологической природы.

Ключевые слова: биоэлементы; концентрация; зольный остаток; среда обитания; периодические зависимости; эссенциальные элементы; метод дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии; метод атомно-эмиссионной спектрометрии с атомизацией в пламени.

PERIODIC DEPENDENCES IN THE DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE HUMAN HAIR ASH RESIDUE

© Vladimir I. Otmakhov¹, Yury S. Sarkisov²,
Alla N. Pavlova², Anastasiia V. Obukhova¹

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk; Russia, e-mail: otmahov2004@mail.ru

² Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia; e-mail: sarkisov@tsuab.ru

Received September 25, 2018. Revised October 7, 2018. Accepted November 25, 2018.

150 years ago D. I. Mendeleev revealed the Periodic law to the world and since that time periodic dependences have been increasingly used in various fields of basic and applied sciences. For the first time we consider the regularities of periodic dependences of the concentration of chemical elements in the ash residue of human hair on the number of the element. Such dependencies for various regions of Russia reveal strictly individual character. It is shown that distributions of the chemical elements for men and women also differ, as well as the distributions determined for the same groups in inhabitants of different regions of residence and depend to a significant extent on the genetic and physiological characteristics of human organism, variability of environmental conditions, earlier diseases and other impacts. This means that population of different urban regions (e.g., Siberian region) is characterized by a strictly individual distribution of biogenic elements. A hypothesis has been put forward that extrema observed on the studied dependences can be a kind of code for a given locality, reflecting correlation with various factors of genetic and ecological nature.

Keywords: bioelements; concentration; bottom ash; habitat; periodic dependencies; essential elements; arc atomic emission spectrometry; flame atomic emission spectrometry.

В настоящее время существует множество способов определения химических элементов и их распределения в живых организмах [1]. В НИ ТГУ разработан способ определения элементного состава биологических объектов методом дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии путем исследования зольного остатка волос человека [2, 3] с использованием спектрометра «Гранд» [4].

Волосы — во многом наиболее доступный материал для определения биогенных элементов, который имеет ряд преимуществ перед обычно используемыми для этой цели объектами анализа, такими как кровь, моча, слюна, зубной дентин и костная ткань. Оказалось, что состав и распределение химических элементов зольного остатка волос неодинаковы для мужчин и женщин, людей одного пола, но разного возраста и с различным уровнем сопротивляемости организма к отрицательным воздействиям (табл. 1).

Анализ приведенных в табл. 1 данных показывает, что в общем содержание химических элементов в волосах как у мужчин, так и у женщин с возрастом снижается. Однако для ряда элементов характерны исключения, которые связаны с индивидуальными особенностями организма.

Так, влияние условий среды обитания и экологических особенностей местности на содержа-

ние макро- и микроэлементов в волосах жителей города Томска и Усть-Каменогорска показано в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что распределение элементов неодинаково и существенно зависит от условий проживания. Например, содержание такого важного биогенного макроэлемента, как кальций, для жителей Томска и Усть-Каменогорска существенно различается. Это характерно и для других элементов.

Нами впервые предложен новый подход к анализу закономерностей распределения химических элементов в зольном остатке волос человека. Такие зависимости были построены для жителей городов Томска, Парабели, Кызыла и Усть-Каменогорска (см. рисунок).

Как видно из рисунка, во всех случаях периодические зависимости носят в целом однотипный характер. Однако для каждого региона они имеют свои особенности. Например, для жителей города Томска экстремумы логарифма концентрации приходятся на такие элементы, как магний, кальций, железо, цинк, серебро, барий, бор, алюминий, ванадий, хром, кадмий, мышьяк, молибден и др. Для жителей Парабели отличительной особенностью являются экстремумы, соответствующие молибдену, олову и свинцу, тогда как

Таблица 1. Распределение химических элементов зольного остатка волос для мужчин и женщин разного возраста (мкг/г)

Элемент	Мужчины			Женщины		
	20 – 30 лет	50 – 60 лет	80 – 90 лет	20 – 30 лет	50 – 60 лет	80 – 90 лет
Ca	663 (289 – 1474)	393 (312 – 3081)	300 (249 – 306)	4468 (3093 – 5251)	3110 (572 – 4747)	996 (694 – 1606)
Mg	54 (32 – 76)	50 (30 – 337)	36 (33 – 38)	252 (131 – 326)	302 (153 – 639)	61 (59 – 252)
P	128 (89 – 311)	100 (84 – 221)	182 (117 – 248)	122 (100 – 176)	123 (118 – 125)	81 (39 – 97)
Si	44 (33 – 324)	167 (52 – 393)	185 (72 – 297)	240 (122 – 397)	123 (10 – 187)	459 (43 – 465)
Zn	173 (97 – 336)	129 (109 – 214)	172 (118 – 225)	268 (156 – 476)	767 (130 – 1337)	80 (43 – 141)
Al	8 (5 – 12)	4,5 (4,1 – 2,1)	3,1 (4,6 – 12)	15 (4,3 – 21)	6 (4,6 – 12)	6,2 (6 – 7,1)
Fe	13,4 (10 – 19)	11 (6,1 – 20)	7,3 (4,9 – 9,7)	10,6 (5,3 – 24)	17,7 (11 – 156)	14 (4,2 – 28)
Cu	6,2 (2,8 – 12)	4,7 (3,9 – 7,8)	4,3 (2,4 – 6,2)	7,7 (5,9 – 17)	7,7 (5,1 – 14)	3 (2,6 – 3,2)
Mn	1,03 (0,6 – 1,5)	0,64 (0,47 – 3)	0,45 (0,39 – 0,50)	4,6 (2,5 – 7,7)	4,3 (0,9 – 24)	3,3 (1,4 – 5)
As	0,21 (0,17 – 0,44)	0,6 (0,01 – 1,8)	0,11 (0,05 – 0,17)	0,1 (0,04 – 0,67)	—*	—
Pb	0,52 (0,3 – 1,1)	0,37 (0,22 – 0,96)	0,68 (0,05 – 1,3)	0,5 (0,30 – 0,72)	0,12 (0,05 – 0,16)	0,19 (0,05 – 0,86)
Ti	2,24 (1,5 – 5,2)	2,3 (1,5 – 3,2)	1,4 (0,9 – 1,9)	1,9 (1 – 6,1)	2,8 (0,14 – 3)	0,58 (0,43 – 3,5)
B	0,06 (0,025 – 0,1)	0,14 (0,02 – 0,26)	0,006 (0,002 – 0,01)	0,03 (0,004 – 0,01)	0,06 (0,01 – 0,29)	0,01 (0,008 – 0,02)
Bi	0,05 (0,002 – 0,09)	0,1 (0,03 – 0,86)	0,019 (0,01 – 0,027)	0,1 (0,01 – 0,2)	—	0,15 (0,05 – 0,58)
Cd	0,05 (0,01 – 0,1)	—	0,006 (0,002 – 0,009)	0,5 (0,1 – 1)	—	—
Co	0,05 (0,01 – 0,1)	0,01 (0,006 – 0,08)	0,013 (0,008 – 0,017)	0,05 (0,01 – 0,1)	—	—
Cr	0,17 (0,1 – 0,6)	0,11 (0,08 – 0,35)	0,085 (0,04 – 0,13)	0,19 (0,1 – 0,32)	0,059 (0,029 – 0,21)	0,01 (0,09 – 0,2)
Sn	0,19 (0,1 – 0,4)	0,11 (0,07 – 0,13)	0,031 (0,018 – 0,044)	0,77 (0,5 – 12)	0,46 (0,14 – 2,2)	0,12 (0,04 – 0,26)
Mo	0,01 (0,003 – 0,035)	0,05 (0,01 – 0,20)	0,82 (0,07 – 1,8)	0,3 (0,12 – 0,49)	0,14 (0,12 – 0,17)	—
Ni	0,11 (0,05 – 0,13)	0,05 (0,01 – 0,18)	0,067 (0,034 – 0,1)	0,19 (0,12 – 0,31)	0,56 (0,28 – 0,76)	0,32 (0,02 – 3,2)
Zr	0,08 (0,015 – 0,2)	0,05 (0,02 – 0,18)	0,015 (0,0004 – 0,03)	0,61 (0,1 – 9,4)	0,32 (0,13 – 1)	0,06 (0,02 – 0,08)
Ag	0,25 (0,1 – 0,7)	0,1 (0,08 – 0,22)	0,03 (0,01 – 0,05)	0,13 (0,06 – 20)	0,23 (0,02 – 0,730)	0,05 (0,02 – 0,11)

* «—» — элемент не обнаружен.

концентрации бария и серебра незначительны. Для жителей Кызыла отличительной особенностью является наличие в волосах лития, циркония и олова, а для жителей Усть-Каменогорска характерно относительно высокое содержание переходных элементов. Такое распределение элементов, скорее всего, можно объяснить экологическими особенностями среды обитания, типом и качеством питания, качеством воды и воздуха и различной степенью приспособленности организма к данным условиям проживания.

Хорошо известно [5], что дефицит или, наоборот, избыток того или иного химического элемента существенно оказывается на здоровье человека. Например, дефицит цинка, железа и йода в Томской области приводит к различным заболеваниям. Содержание таких токсичных элементов, как бериллий и ртуть, может вообще привести к летальному исходу.

Не вдаваясь глубоко в проблему влияния химических элементов на здоровье человека (достаточно указать на ряд монографий, посвященных этому вопросу [6 – 8]), можно сделать вывод, что периодические зависимости позволяют об-

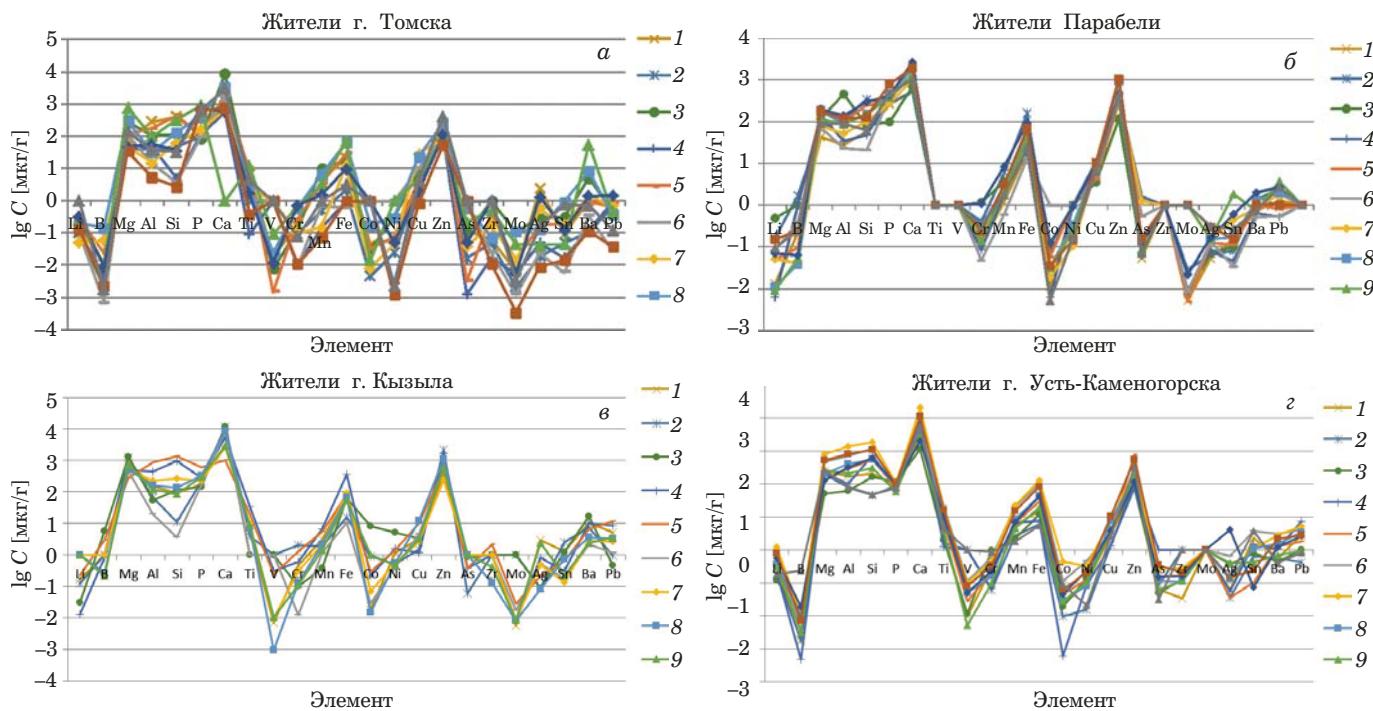
наружить общие тенденции распределения химических элементов и наметить оптимальные пути улучшения качества жизни людей.

По нашему мнению, порядковые номера элементов, соответствующие экстремумам на графиках периодических зависимостей, могут составлять своеобразный код, характерный только для данной территории. Например, для города Томска (см. рисунок, а) такими кодами может служить последовательность: 5 – 12 – 20 – 23 – 24 – 26 – 27 – 28 – 30 – 33 – 42 – 47 – 56; для Пара-бели (см. рисунок, б) — 3 – 4-5 – 12 – 13 – 20 – 24 – 26 – 30 – 33 – 42 – 50 – 82; для Кызыла (см. рисунок, в) — 3 – 5 – 12 – 14 – 20 – 23 – 24 – 26 – 27 – 30 – 33 – 40 – 42 – 47 – 56; для Усть-Каменогорска (см. рисунок, г) — 5 – 12 – 14 – 20 – 23 – 26 – 27 – 28 – 30 – 33 – 42 – 47 – 50.

Дальнейшие исследования в этом направлении позволят обнаружить новые закономерности в распределении химических элементов в зольном остатке волос человека и их взаимосвязь с различными факторами генетической, физиологической и экологической природы.

Таблица 2. Характеристики распределения химических элементов (мкг/г) в волосах жителей городов Томска и Усть-Каменогорска

Элемент	Референтные значения	Томск		Усть-Каменогорск	
		Интерквартильный размах	Медиана	Интерквартильный размах	Медиана
Ag	0,005 – 0,2	0,05 – 0,025	0,14	0,06 – 0,44	0,17
Al	1 – 40	82 – 459	249	17,5 – 64,7	41,95
As	0,005 – 1	0,06 – 0,25	0,1	0,0006 – 0,16	0,04
Ba	0,2 – 1	0,55 – 1,87	1,1	0,75 – 3,6	1,4
Ca	200 – 300	1990 – 7941	3400	744 – 5421	2128
Cd	0,05 – 0,25	0,06 – 0,14	0,1	0,03 – 0,1	0,07
Co	0,01 – 0,5	0,018 – 0,08	0,04	0 – 0,04	0,007
Cr	0,1 – 4	0,102 – 0,521	0,23	0,09 – 0,25	0,15
Cu	7,5 – 20	3,33 – 4,71	3,8	2,7 – 9	4,3
Fe	10 – 50	21,6 – 51,4	23	2,8 – 24	9,6
K	25 – 660	22,5 – 731,3	290	55 – 608	188
Li	0,01 – 0,25	0,198 – 0,895	0,4	0,1 – 0,3	0,18
Mg	20 – 200	108,5 – 282,1	207	47 – 245,5	123
Mn	0,1 – 2	2,3 – 9,1	5,8	0,58 – 3,23	1,6
Ni	0,1 – 2	0,05 – 0,2	0,1	0,002 – 0,16	0,06
P	75 – 200	81 – 106	88,9	108 – 759,5	442,32
Pb	0,1 – 5	1,6 – 4,3	2,9	0,2 – 0,9	0,545
Si	10 – 2000	47 – 577	177,8	28 – 118	64,12
Sn	0,05 – 2,5	0,1 – 1,1	0,45	0,07 – 0,45	0,2
Ti	0,5 – 8	2,2 – 13	6,1	1,2 – 7,8	3
V	0,005 – 0,5	0,006 – 0,06	0,02	0 – 0,015	0,002
W	0,01 – 0,1	0,027 – 0,1	0,057	0,015 – 0,8	0,19
Zn	100 – 250	111,15 – 249,93	145,49	90 – 262,5	115



Распределение логарифма концентрации химических элементов в зольном остатке волос жителей городов: *a* — Томска; *б* — Парабели; *в* — Кызыла; *г* — Усть-Каменогорска (1–9 — количество человек, участвующих в эксперименте)

ЛИТЕРАТУРА

- Бгатов А. В. Биогенная классификация химических элементов / Философия науки. 1999. № 2(6).
- Кускова И. С. Оптимизация условий проведения элементного анализа биологических объектов методами дуговой и пламенной атомно-эмиссионной спектрометрии: автореф. дис. ... канд. хим. наук. — Томск, 2017. — 24 с.
- Отмаков В. И., Катаева Н. Г., Кускова И. С. и др. Элементный анализ волос методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии с целью диагностики заболеваний / Химический анализ и медицина: тезисы докл. 1 Всерос. конф. с международным участием. — М., 2015. С. 134.
- Лабусов В. А. Приборы и комплексы компаний «ВМК-Оптоэлектроника» для атомно-эмиссионного спектрального анализа. Современное состояние / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1. Ч. II. С. 12–21.
- Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. — М.: Мир, 2004. — 216 с.
- Скальная М. Г., Скальный А. В., Демидов В. А. Зависимость элементного состава волос от пола и возраста / Вестн. СПб ГМА им. И. И. Мечникова. 2001. № 4(2). С. 72–77.
- Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. — М.: Мир, 2005. — 272 с.
- Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементология: основные понятия и термины. — Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. — 50 с.

REFERENCES

- Bgatov A. V. Biogenic classification of chemical elements / Filos. Nauki. 1999. N 2(6) [in Russian].
- Kuskova I. S. Optimization of the conditions for elemental analysis of biological objects by arc and flame atomic emission spectrometry methods: PhD thesis in chemistry. — Tomsk, 2017. 24 p. [in Russian].
- Otmakhov V. I., Kataeva N. G., Kuskova I. S., et al. Elemental hair analysis by arc atomic emission spectroscopy for the purpose diseases of diagnosis / Chemical analysis and medicine: abstrs. of the 1st All-Russia. conf. with international participation. — Moscow, 2015. P. 134 [in Russian].
- Labusov V. A. Devices and Systems for Atomic Emission Spectroscopy Produced by “VMK-Optoelektronika”: State-of-the Art / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 1. Part II. P. 12–21 [in Russian].
- Skalny A. V. Chemical elements in human physiology and ecology. — Moscow: Mir, 2004. — 216 p. [in Russian].
- Skalnaya M. G., Skalny A. V., Demidov V. A. Dependence of the elemental composition of hair on sex and age / Vestnik SPb GMA im. I. I. Mechnikova. 2001. N 4(2). P. 72–77 [in Russian].
- Skalny A. V., Rudakov I. A. Bioelements in medicine. — Moscow: Mir, 2005. — 272 p. [in Russian].
- Skalny A. V., Rudakov I. A. Bioelementology: basic concepts and terms. — Orenburg: GOU OGU, 2005. — 50 p. [in Russian].