

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА ЧЕЛОВЕКА

**Н.В. Похилюк**

ФКУЗ «МСЧ МВД России по Магаданской области», г. Магадан, Россия

**РЕЗЮМЕ.** Проведено исследование элементного статуса человека с помощью различных статистических подходов и многоступенчатая статистическая обработка полученных данных. Первая ступень анализа – сравнение абсолютных значений содержания химических элементов у эвенов с референтными величинами и аналогичными показателями у европеоидов. Выявлен сочетанный дефицит Ca, Co и Se у эвенов и европеоидов. Вторая ступень анализа – определение соотношения исследованных элементов к кальцию. Полученные относительные величины содержания элементов у эвенов, кроме K, Na, находятся на более низком уровне, чем у европеоидов ( $p < 0,05$ ). В то же время у эвенов содержание Al, As, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Se, Si, V, Zn, I было на более низком уровне, чем у европеоидов ( $p < 0,05$ ). Третья ступень анализа – расчет коэффициентов корреляции абсолютных и относительных величин содержания химических элементов у эвенов. Установлены пары элементов, которые сохранили силу корреляционной связи при переходе с абсолютных величин на относительные величины: K-Na (0,93), Cr-V (0,75), Cd-Pb (0,68), Al-Li и Cr-I (0,67), Cr-Si и P-Si (0,61), As-Cr (0,59), As-Na (0,56), P-V (0,50).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** относительные величины, макро- и микроэлементы, кальций.

### ВВЕДЕНИЕ

Среда обитания в значительной мере оказывает влияние на жизнедеятельность индивида. Благоприятным условием адаптации организма к меняющимся условиям окружающей среды является оптимальная обеспеченность его макро- и микроэлементами (Скальный, 2009).

Считается, что аборигенные жители адаптированы к условиям своего исконного проживания. Северные регионы относят к территориям с экстремальными условиями проживания, где на человека действует целый комплекс неблагоприятных факторов. Недостаток химических элементов в почве и воде северных территорий в настоящее время усугубляются антропогенным загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами, пестицидами и т.д.

В последние десятилетия отмечается рост заболеваемости жителей Севера как среди приезжих, так и среди аборигенных жителей (Манчук, Надточий, 2010). Исследование уровня обеспеченности организма макро- и микроэлементами значимо при многих видах патологии (остеопороз, патология щитовидной железы, мочекаменная болезнь, кариес и др.) (Скальный, Рудаков, 2004). Кроме того, оценка элементного статуса позволяет спрогнозировать вероятность возникновения патологическо-

го состояния на этапе перед заболеванием и провести профилактические мероприятия.

Важнейшим этапом в оценке состояния минерального обмена является сравнение полученных величин содержания химического элемента в биологическом субстрате с установленными нормами. Ряд исследователей (Барашков и др., 2003; Луговая и др., 2015) указывают на необходимость многоступенчатой оценки элементного состава. Так, первая ступень предполагает анализ абсолютного содержания химических элементов, на второй ступени осуществляется расчет и анализ относительных величин соотношений элементов. Указанный подход позволяет расширить представление о состоянии минерального обмена в организме.

**Цель исследования** – оценка элементного статуса жителей Севера на основании определения диапазонов колебания абсолютного и относительного содержания макро- и микро-элементов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования явились две этнические группы Севера – лица женского и мужского пола в возрастном интервале 18–37 лет, проживающие на одной территории. Первая группа представлена аборигенными жителями –

\* Адрес для переписки:

**Похилюк Наталья Владимировна**  
E-mail: natalis2686@mail.ru

эвнами ( $n = 68$ ), вторая группа (контрольная) – европеоидами ( $n = 89$ ), уроженцами Магаданской области от мигрантов Севера.

Биологическим субстратом для элементного анализа послужили волосы. Исследования проведены в АНО Центр биотической медицины (Москва). В образцах волос методом масс-спектрометрии (МС-ИСП) с индуктивно связанной аргонной плазмой на приборе ELAN 9000 (Perkin Elmer Corp., США) определено содержание макро- и микроэлементов: железо (Fe), калий (K), кальций (Ca), кобальт (Co), магний (Mg), медь (Cu), натрий (Na), фосфор (P), алюминий (Al), мышьяк (As), кадмий (Cd), хром (Cr), литий (Li), марганец (Mn), никель (Ni), свинец (Pb), селен (Se), кремний (Si), олово (Sn), ванадий (V), цинк (Zn), йод (I).

Статистическая обработка материала проведена с использованием программ STATISTICA 6.0 (StatSoft Inc., США), Microsoft Excel 2010. На основании данных элементного анализа волос рассчитаны ряд индексов: медиана (Me), значе-

ния межквартильных интервалов ( $Q_1-Q_2$ ), коэффициенты соотношений химических элементов. Для анализа взаимосвязи абсолютных и относительных величин использовали непараметрический корреляционный метод Спирмена ( $r$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Волосы являются информативным биосубстратом по ряду элементов: Al, As, Ca, Cu, Fe, Mg, P, Pb, Zn (Гресь и др., 2013). Элементный состав волос отражает поступление химических элементов в прошлом и, в отличие от крови, не подвержен суточным колебаниям, что показательно при установлении хронического дефицита или избытка определенных макро- и микроэлементов в организме. При этом научный интерес представляют как «эталонные» методы анализа, так и рассмотрение и применение «альтернативных» методов оценки элементного статуса.

На первой ступени исследования проведена оценка абсолютных значений содержания химических элементов (табл. 1).

Таблица 1. Абсолютное содержание макро- и микроэлементов в волосах эвнов и европеоидов, мкг/г

Элемент	Референтные значения* ( $Q_1-Q_2$ )	Эвны (1)		Европеоиды (2)		Достоверные отличия между группами, $p < 0,05$ **
		Me	$Q_1-Q_2$	Me	$Q_1-Q_2$	
Al	6–18	3,75	2,23–7,30	7,26	4,33–11,09	1–2
As	0,00–0,56	0,042	0,036–0,059	0,043	0,42–0,066	1–2
Ca	494–1619	395,56	337,08–521,78	318,48	217,00–488,85	1–2
Cd	0,02–0,12	0,026	0,009–0,037	0,011	0,005–0,019	1–2
Co	0,04–0,16	0,010	0,006–0,020	0,011	0,007–0,016	–
Cr	0,32–0,96	0,38	0,17–0,61	0,40	0,28–0,62	–
Cu	9–14	10,64	8,95–12,43	10,90	9,21–11,95	–
Fe	11–24	14,86	9,39–19,33	18,52	13,49–28,24	1–2
K	29–159	131,46	41,33–290,65	51,74	18,38–124,50	1–2
Li	0,00–0,02	0,012	0,005–0,013	0,012	0,012–0,017	1–2
Mg	39–137	39,47	30,20–56,69	29,23	20,56–46,04	1–2
Mn	0,32–1,13	0,47	0,30–1,34	0,59	0,32–1,01	–
Na	73–331	229,88	96,16–483,87	106,30	43,62–198,51	1–2
Ni	0,14–0,53	0,18	0,13–0,23	0,21	0,14–0,36	–
P	135–181	173,2	158,9–190,8	156,4	139,7–167,5	1–2
Pb	0,38–1,40	0,34	0,21–0,68	0,22	0,12–0,44	1–2
Se	0,69–2,20	0,30	0,26–0,42	0,38	0,29–0,50	1–2
Si	11–37	33,47	18,71–45,08	32,44	20,10–50,55	–
Sn	–	0,079	0,049–0,145	0,089	0,048–0,139	–
V	–	0,053	0,008–0,093	0,054	0,25–0,088	–
Zn	155–206	181,4	155,8–211,0	190,8	167,2–241,6	–
I	0,42–2,7***	0,62	0,30–1,43	0,66	0,36–1,23	–

Примечание:  $Q_1$  – нижний квартиль;  $Q_2$  – верхний квартиль; \* – Скальный, 2003; \*\* – критерий Манна–Уитни; \*\*\* – Горбачев, Скальный, 2015.

Таблица 2. Относительное содержание макро- и микроэлементов в волосах эвенов и европеоидов, мкг/г

Элемент/Са	Эвены (1)		Европеоиды (2)		Достоверные отличия между группами, $p < 0,05$
	Me	Q <sub>1</sub> -Q <sub>2</sub>	Me	Q <sub>1</sub> -Q <sub>2</sub>	
Al	0,009	0,005-0,016	0,022	0,012-0,040	1-2
As	0,0001	0,00007-0,00020	0,00018	0,00009-0,00030	1-2
Cd	0,00005	0,00002-0,00009	0,00003	0,00001-0,00008	-
Co	0,000023	0,000016-0,000037	0,00003	0,00002-0,00005	1-2
Cr	0,0009	0,0003-0,0017	0,0014	0,0006-0,0025	1-2
Cu	0,026	0,018-0,036	0,034	0,021-0,048	1-2
Fe	0,03	0,02-0,05	0,06	0,035-0,104	1-2
K	0,314	0,096-0,813	0,118	0,048-0,455	1-2
Li	0,00002	0,00001-0,00004	0,00005	0,00003-0,00008	1-2
Mg	0,098	0,084-0,110	0,100	0,082-0,116	-
Mn	0,0013	0,0008-0,0021	0,0017	0,0012-0,0028	1-2
Na	0,60	0,17-1,22	0,28	0,12-0,84	1-2
Ni	0,0004	0,0003-0,0006	0,0007	0,0003-0,0012	1-2
P	0,42	0,33-0,57	0,48	0,30-0,69	-
Pb	0,0009	0,0004-0,0018	0,0006	0,0003-0,0015	-
Se	0,0007	0,0006-0,0013	0,0011	0,0007-0,0019	1-2
Si	0,073	0,044-0,139	0,094	0,056-0,182	1-2
Sn	0,00018	0,00012-0,00037	0,00026	0,00013-0,00057	-
V	0,00007	0,00003-0,00024	0,00016	0,00006-0,00034	1-2
Zn	0,46	0,35-0,60	0,60	0,40-1,04	1-2
I	0,0016	0,0006-0,0038	0,0021	0,0013-0,0036	1-2

Выявлено отклонение некоторых макро- и микроэлементов от референтных величин. Медианы Al (3,75 мкг/г), Ca (395,56 мкг/г), Co (0,010 мкг/г), Se (0,30 мкг/г) у эвенов находились ниже установленных величин. У европеоидов ниже референтных величин отмечены медианы Ca (318,48 мкг/г), Co (0,011 мкг/г), Mg (29,23 мкг/г), Se (0,38 мкг/г). Оценка межгрупповых отличий эвенов и европеоидов показала статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ) по 12 элементам: Al, As, Ca, Cd, Fe, K, Li, Mg, Na, P, Pb, Se. Таким образом, установленное сочетанное снижение кальция, кобальта и селена в исследованных группах эвенов и европеоидов может свидетельствовать о региональном дефиците указанных элементов. Пониженное содержание алюминия в волосах эвенов, при условии проживания изучаемых лиц в схожих геохимических условиях, вероятно, указывает на наличие у эвенов генетически обусловленных механизмов, препятствующих накоплению алюминия в организме, или отражает более низкий уровень контактов с Al в быту и при потреблении пищи.

На второй ступени исследования проведен расчет относительного содержания химических элементов (табл. 2). Концентрацию исследуемого элемента соотносили с содержанием реперного элемента. Согласно литературным данным, в качестве такого элемента предпочтительнее использовать кальций (Барашков и др., 2003). Это связывают с тем, что содержание в организме кальция по сравнению с другими элементами максимально, и его уровень является относительно стабильным.

Оценка межгрупповых отличий в содержании относительных величин у эвенов и европеоидов показала статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ) по 16 элементам: Al, As, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Li, Mn, Na, Ni, Se, Si, V, Zn.

У эвенов по сравнению с европеоидами отмечено повышение медианы относительного содержания двух макроэлементов – K, Na. При этом Al, As, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Ni, Si, V, Zn у эвенов ниже аналогичного показателя европеоидов. По нашему мнению, низкие значения большинства соотношений элемент/кальций у эвенов

являются следствием формирования адаптивного типа в условиях пониженного содержания химических элементов в геохимической среде. Известно, что вода изучаемых территорий имеет слабую минерализацию (Бульбан, 2009).

На третьей ступени исследования рассчитывали коэффициенты корреляции абсолютных и относительных величин содержания химических элементов у эвенов.

При статистическом анализе абсолютных величин высокие коэффициенты корреляции определены в пяти парах: К-Na (0,92), Са-Mg(0,83), Со-Mn (0,77), Fe-Mn (0,71), Cr-V (0,70). Средняя корреляционная связь установлена в 18 парах; Cr-Si (0,69), Cr-I (0,64), As-Cr и Mg-Mn (0,60), Al-Li (0,59), P-V (0,57), Ca-Fe и Co-Fe (0,58), P-Si и Cd-Pb (0,56), Mg-Fe, Co-SnCu-V (0,55), Cr-P (0,54), Co-Mg и Si-V (0,53), Si-I (0,51), As-Na (0,50).

Расчеты коэффициентов корреляции при рассмотрении относительных величин содержания макро- и микроэлементов дали другую картину. Из указанных пар элементов сильную корреляционную связь сохранили К-Na (0,93), Cr-V (0,75). Отмечены новые пары с высоким коэффициентом корреляции: Cu-P (0,87), К-Pb (0,76), As-P и Cu-Zn (0,74), Na-Pb (0,72). Средняя корреляционная связь определена в 42 в парах химических элементов. В то же время только в восьми парах элементов осталась корреляционная связь средней силы: Cd-Pb (0,68), Al-Li и Cr-I (0,67), Cr-Si и P-Si (0,61), As-Cr (0,59), As-Na (0,56), P-V (0,50). Для дальнейшей интерпретации полученных зависимостей необходимо изучение указанных тенденций с учетом пола исследуемых лиц и сезона года.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выражение результатов содержания макро- и микроэлементов в биологических субстратах в относительных величинах является перспективным методом элементного анализа. Расчет относительных величин позволяет получить дополнительную информацию о состоянии минерального обмена. Полученные сведения можно использовать как для диагностики патологических состояний, так и для разработки рекомендаций по профилактике заболеваний. Вычисления не требуют специального программного обеспечения, технически выполняются в автоматическом режиме, в том числе при использовании программ общего назначения, например Microsoft Excel.

Содержание Al, As, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Ni, Si, V, Zn у эвенов ниже аналогичного показателя европеоидов. По нашему мнению, это связано с тем, что формирование у аборигенных жителей

адаптивного типа происходило в условиях пониженного содержания химических элементов в геохимической среде.

Отмеченное пониженное содержание Са, Со и Se у эвенов и европеоидов может свидетельствовать о региональном дефиците указанных элементов.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Барашков Г.К., Балкаров И.М., Зайцева Л.И., Кондахчан М.А., Константинова Е.А., Деньгин В.В. Диапазон содержания тяжелых металлов (ТМ) в цельной крови взрослых россиян центра страны. Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4. № 3. С. 1–5.

(Barashkov G.K., Balkarov I.M., Zaitseva L.I., Kondakhchan M.A., Konstantinova E.A., Dengin V.V. [Range of contents of heavy metals in the whole blood of adult Russians from central region of Russia]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2003, 4(3):1–5 [in Russ]).

Бульбан А.П. Оценка влияния биогеохимического окружения на элементный статус жителей Магаданской области. Микроэлементы в медицине. 2009. Т. 10. № 1–2. С. 53–56.

(Bulban A.P. [Assessment of influence of the biogeochemical peculiarities on mineral status of people in the Magadan region]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2009, 10(1–2):53–56 [in Russ]).

Горбачев А.Л., Скальный А.В. Содержание йода в волосах как показатель йодного статуса на индивидуальном и популяционном уровнях. Микроэлементы в медицине. 2015. Т. 16. № 4. С. 41–44.

(Gorbachev A.L., Skalny A.V. [Hair iodine content as an index of iodine status on the individual and population level]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2015, 16(4):41–44 [in Russ]).

Гресь Н.А., Юрага Т.М., Романюк А.Г., Хамад Саид, Сокол В.П. Информативность спектроскопии волос при изучении микроэлементных нарушений в организме человека. Медицинские новости. 2013. № 4. С. 77–80.

(Gres N.A., Juraha T.M., Romanyuk A.G., Hamad Said, Sokol V.P. [The information content of spectroscopy of hair by investigation of disorder of minor elements in human organism]. Medical News. 2013, 4:77–80 [in Russ]).

Ивантер Э.В., Корсов А.В. Основы биометрии. Введение в статистический анализ биологических явлений и процессов. Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1992. 168 с.

(Ivanter E.V., Korsov A.V. [Fundamentals of biometrics. Introduction to the statistical analysis of biological phenomena and processes]. Petrozavodsk, 1992 [in Russ]).

Луговая Е.А., Степанова Е.М., Горбачев А.Л. Подходы к оценке элементного статуса организма человека. Микроэлементы в медицине. 2015. Т. 16. № 2. С. 10–17.

(Lugovaya E.A., Stepanova E.M., Gorbachev A.L. [Approaches to the body element status assessment]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2015, 16(2):10–17 [in Russ]).

Манчук В.Т., Надточий Л.А. Состояние и тенденции формирования здоровья коренного населения Севера и Сибири. Бюллетень СО РАМН. 2010. Т. 30. № 3. С. 24–32.

(Manchuk V.T., Nadtochiy L.A. [The state of and trends in health of indigenous peoples of the North and Siberia].

Byulleten' Sibirskogo Otdeleniya Rossiyskoy Akademii Meditsinskikh Nauk. 2010, 30(3):24–32 [in Russ]).

Скальный А.В. Развитие концепции биоэлементов и перспективы биоэлементологии. Микроэлементы в медицине. 2009. Т. 10. № 3–4. С. 1–6.

(Skalny A.V. [Development of the concept of bioelements and the prospects of bioelementology]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2009, 10(3–4):1–6 [in Russ]).

Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом

ИСП-АЭС (АНО «Центр биотической медицины»). Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4. № 1. С. 55–56.

(Skalny A.V. [Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES method in ANO Centre for Biotic Medicine]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2003, 4(1):55–56 [in Russ]).

Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»; Мир, 2004. 272 с.

(Skalny A.V., Rudakov I.A. [Bioelements in medicine]. Moscow: Publishing house "ONIKS 21 vek"; Mir, 2004 [in Russ]).

## ALTERNATIVE STATISTICAL APPROACHES IN DETERMINING THE ELEMENTAL STATUS OF A MAN

*N.V. Pokhilyuk*

Federal Public Health Institution «Medical-sanitary part of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation for the Magadan Region», Proletarskaya street, 25/3, Magadan, 685000, Russia

**ABSTRACT.** The article presents the results of the elemental status investigation for the North indigenous population with the help of various statistical approaches. A multistage statistical data processing has been carried out. The first stage of the analysis performed was a comparison of the absolute values of the chemical elements content for the Evens with reference values and similar indicators for the Caucasoid people. We identified a combined deficit of Ca, Co and Se for both the Evens and Caucasoids. The aim of the second stage of the analysis was to determine the ratio of the elements studied to calcium. We determined the increase in the median of two macroelements' (K, Na) relative content for the Evens in comparison with the Caucasoids ( $p < 0.05$ ). At the same time, in the Evens, the content of Al, As, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Se, Si, V, Zn, I was lower than in Caucasoids ( $p < 0.05$ ). The third stage of the analysis was the calculation of the correlation coefficients for the absolute and relative values of the chemical elements content in the Evens. We have determined the pairs of elements that have not lost the strength of the correlation upon the transition in calculations from absolute values to relative values: K-Na (0.93), Cr-V (0.75), Cd-Pb (0.68), Al-Li and Cr-I (0.67), Cr-Si and P-Si (0.61), As-Cr (0.59), As-Na (0.56), P-V (0.50).

**KEYWORDS:** relative values, macroelements, trace elements, calcium.