

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Е.А. Луговая<sup>1\*</sup>, Е.М. Степанова<sup>1</sup>, А.Л. Горбачев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН, г. Магадан, Россия

<sup>2</sup> Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия

**РЕЗЮМЕ.** Для иллюстрации комплексного подхода к оценке элементного статуса организма человека проанализированы результаты многоэлементного анализа волос юношей и мужчин I периода зрелого возраста, родившихся и проживающих в условиях Азиатского севера России (г. Магадан). В волосах юношей до нижней границы референтных интервалов находятся медианы концентраций Ca, Co, Fe, Se, Al и Pb, в волосах мужчин – Ca, Co, Mg, Se. Концентрация Si в волосах у всех обследованных значительно превысила верхнюю границу референтных величин. Концентрации всех химических элементов в волосах юношей были ниже аналогичных значений показателя в организме мужчин, за исключением концентрации K и Na. В структуре корреляционных пляд юношей было выявлено 13 положительных корреляционных связей ( $r > |0,7|$ ,  $p < 0,05$ ), в то время как в группе мужчин – 2. При этом значения коэффициентов детерминации у юношей варьировали от  $R^2=0,50$  усл. ед. до  $R^2=0,77$  усл. ед., у мужчин I периода зрелого возраста – от  $R^2=0,52$  усл. ед. до  $R^2=0,64$  усл. ед., т.е. степень проявления взаимовлияний в элементной системе организма в обнаруженных парах элементов у обследованных лиц была значительной – 53–77%. Значение показателя степени адаптированности элементной системы организма (48 усл. ед. в группе юношей и 13 усл. ед. в группе мужчин I периода зрелого возраста) позволяет предположить, что в ответ на напряжение, которое испытывает организм в юношеском возрастном периоде, для достижения стабильного равновесного состояния одна из основных регуляторных систем – элементная – формирует максимальное число устойчивых связей внутри системы для обеспечения функциональных резервов организма в условиях постоянного действия экстремальных факторов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** макроэлементы, микроэлементы, дисбаланс, оценка элементного статуса.

### ВВЕДЕНИЕ

Патологические процессы, вызванные дефицитом, избытком или дисбалансом микроэлементов (МЭ), называемые в научной среде микроэlementозами, представляют в современной России проблему национального масштаба. В целом, около 2/3 взрослых и 3/4 детей в России могут быть отнесены в группы риска по гипозэlementозам, т.е. дефициту одного или нескольких важнейших макро- и микроэлементов одновременно. Около 1/3 населения в той или иной степени подвержены гиперэlementозам (избыточное накопление одного или нескольких элементов в организме) (Корчина, 2007).

Несмотря на то, что в последние годы выполнены масштабные исследования, позволившие получить ценную информацию об элементном составе волос людей, проживающих в различных регионах страны, работающих в различных отраслях народного хозяйства, страдающих от различных заболеваний и т.д. (Grabeklis, Skalny, 2003), в области медицинской элементологии продолжает

оставаться потребность в разработке общих интегральных оценок, которые были бы полезными при сравнительном анализе результатов многоэлементных исследований и способствовали бы более глубокой интерпретации получаемых данных (Рудаков и др., 2006).

В настоящей работе мы попытаемся объединить ряд интегральных индексов и показателей, используемых специалистами в области биомедицинской элементологии для оценки элементного статуса организма человека, и интерпретации данных о содержании макро- и микроэлементов в волосах людей с учетом не только абсолютных значений концентраций, но и с анализом их соотношений путем расчета различных коэффициентов и выведения индикаторов дисбаланса МЭ.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для иллюстрации комплексного подхода к оценке элементного статуса организма человека в качестве примера были проанализированы результаты, полученные при многоэлементном анализе волос юношей ( $18,75 \pm 0,19$  лет,  $n = 54$ ) и мужчин I периода зрелого возраста ( $27,90 \pm 0,46$

\* Адрес для переписки:

Луговая Елена Александровна  
E-mail: elena\_plant@mail.ru

лет,  $n = 68$ ) – условно здоровых лиц, родившихся и проживающих в условиях Азиатского севера России (г. Магадан).

Содержание 25 химических элементов (Al, As, V, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn) в волосах определяли методами атомной эмиссионной спектрометрии (АЭС-ИСП) и масс-спектрометрии (МС-ИСП) с индуктивно связанной аргонной плазмой согласно МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрией» на приборах Optima 2000 DV и ELAN 9000 («Perkin Elmer Corp.», США) в ООО «Микронутриенты» (Москва) с анализом и интерпретацией данных по «Методу доктора Скального®» (метод зарегистрирован в РАО, свидетельство № 2471 от 06 ноября 1997 г.) (Скальный, 2000). Принимая во внимание тот факт, что северные территории крайне отличаются от центральных районов России природно-климатическими, биогеохимическими, диетологическими и адаптационными характеристиками, ввиду отсутствия утвержденных референтных значений концентраций химических элементов в волосах жителей Крайнего Северо-Востока России, для сравнения в качестве референтных величин концентраций элементов в волосах использовали среднероссийские показатели (Скальный, 2000; Скальный, 2003).

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием пакета IBM SPSS Statistics 21. Для установления различий между двумя независимыми выборками по количественным показателям, распределение которых отличалось от нормального, применяли критерий Манна–Уитни (U), где Z соответствует параметрическому t-критерию Стьюдента для независимых выборок. Параметры описательной статистики для количественных показателей приведены в виде медианы (Me) и интерквартильной широты (25-й; 75-й процентиль). Анализ вероятностной связи между химическими элементами в организме проводили с помощью ранговой корреляции Спирмена. Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принималось при  $p < 0,05$ .

Для интерпретации результатов анализа волос пользовались 4-бальной шкалой, соответствующей тяжести отклонения содержания в волосах того или иного химического элемента от границ нормального содержания. Отклонения 1-й и 2-й степеней соответствуют понятиям «состояния предболезни», а отклонения 3-й и 4-й степеней – понятию «болезни» (Скальный, 2002; Скальный, 2003; Скальная и др., 2003). На основе выраженных частот избытка или дефицита химического элемента для представления элементного профиля обследуемого контингента выведены «формулы» элементного дисбаланса (более 10% от общего числа обследованных лиц, у которых отклонение

содержания в волосах химического элемента было 2-й степени и выше): в числителе – повышенные концентрации, в знаменателе – пониженные (Скальный и др., 2004). Для визуализации степени глубокого (2–4-й степени отклонения) дисбаланса в элементном профиле обследованных лиц построены лепестковые диаграммы с расчётом общей площади фигур, отражающих суммарную величину отклонения в группе.

Структуру элементных отклонений представляли также в виде номограммы-мишени, отражающей степень распространения дефицита и избытка МЭ в изучаемых группах. В центре «мишени» – так называемая зона умеренных отклонений, куда отнесены элементы с невысокой частотой распространенности в группах исследования, в область «периферии» (зона значительных отклонений) попадают элементы, имеющие высокую частоту встречаемости дисбаланса (более 50%) в исследуемой группе. Направленность дисбаланса (дефицит или избыток) можно оценить по расположению элемента в соответствующем сегменте координатной плоскости (Ефимова и др., 2003). Для определения общей доли вариации для коррелируемых показателей концентраций МЭ в волосах обследуемых рассчитывали коэффициент детерминации ( $R^2 = r^2$ ), используемый, в том числе, при интерпретации данных физиологических исследований (Мельников и др., 2012).

Для количественной оценки степени резистентности организма к действию неблагоприятных условий окружающей среды рассчитывали степень адаптированности элементной системы организма к условиям окружающей среды:

$$A = \frac{n \cdot \sum K_k}{N},$$

где  $A$  – степень адаптированности в усл. ед.;  $n$  – число корреляционных связей между элементами с коэффициентом корреляции 0,5 и более;  $\sum K_k$  – сумма коэффициентов корреляции без учета знака;  $N$  – число микроэлементов, объединенных в плеяды (Баевский и др., 2001) с интерпретацией полученных значений.

По мнению авторов, одним из механизмов, обеспечивающих адекватный ход адаптационных перестроек, является увеличение числа внутри- и межсистемных связей как средство более надежного функционирования организма (или его отдельной системы) в случае каких-либо нарушений или поломки в одном из регуляторных звеньев. В этом случае, как было показано рядом физиологических исследований, происходит перераспределение функциональных нагрузок на другие системы организма, что компенсирует вызванные нарушения и не приводит к срыву адаптации, выраженным дизрегуляторным последствиям или патологии (Максимов, Бартош, 1999; Сороко и др., 2005). Вместе с тем А.Н. Горбань с коллегами отмечают (Горбань и др., 1997), что при значи-

тельном адаптационном напряжении корреляции между физиологическими параметрами растут, а в ходе успешной адаптации уменьшаются. В линейном приближении получается уменьшение корреляций в ходе адаптации: чем выше адаптированность, тем меньше корреляции, и, напротив чем больше напряжение, тем они выше.

При анализе результатов многоэлементных исследований, полученных у лиц разных групп, использован, предложенный И.А. Рудаковым и коллегами (Рудаков и др., 2006), интегральный критерий оценки элементного дисбаланса – коэффициент статистической нестабильности (КСН), достаточно отражающий особенности статистических совокупностей рассматриваемых выборок

(величины концентрации определенного элемента в исследуемых образцах) и степень индивидуального разброса величины концентрации каждого элемента в волосах обследованных, что позволяет сформировать различные по стабильности группы химических элементов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа характера распространенности элементного дисбаланса обследуемых групп определены статистические величины (медиана, 25-й; 75-й процентиль) содержания МЭ в волосах юношей и мужчин I периода зрелого возраста (табл. 1).

*Таблица 1. Содержание макро- и микроэлементов (мкг/г) в волосах юношей и мужчин I периода зрелого возраста г. Магадана, Ме (25-й; 75-й процентиль)*

МЭ	Юноши (n = 54)	Частота глубоких отклонения, %		Мужчины I периода зрелого возраста (n = 68)	Частота глубоких отклонения, %		Статистические критерии и уровень значимости различий между сравниваемыми группами (U; Z; p)
		Дефицит	Избыток		Дефицит	Избыток	
Al	4,72 (2,92; 7,55)	0	0	9,76 (6,17; 14,08)	0	2	498; -3,66; 0,00
As	0,08 (0,04; 0,10)	0	0	0,08 (0,05; 0,11)	0	0	823; -1,04; 0,30
B	0,42 (0,23; 0,74)	0	0	0,83 (0,58; 1,63)	0	0	369; -3,25; 0,00
Be	0,003 (0,003; 0,003)	0	0	0,003 (0,003; 0,003)	0	0	763,5; -1,87; 0,06
Ca	215,20 (163,14; 314,23)	43	0	263,12 (185,83; 336,76)	29	0	790; -1,31; 0,19
Cd	0,02 (0,01; 0,04)	7	4	0,03 (0,01; 0,05)	0	4	841,5; -0,89; 0,37
Co	0,007 (0,002; 0,011)	64	0	0,010 (0,006; 0,018)	34	0	606; -2,79; 0,01
Cr	0,71 (0,33; 0,95)	4	7	0,72 (0,45; 0,99)	2	7	893,5; -0,47; 0,64
Cu	9,02 (8,12; 10,42)	0	0	10,86 (9,72; 12,17)	0	2	507,5; -3,58; 0,00
Fe	12,02 (7,77; 15,68)	7	4	17,59 (13,84; 26,81)	0	7	432; -4,19; 0,00
Hg	0,12 (0,05; 0,18)	0	0	0,52 (0,21; 0,85)	0	0	296; -4,99; 0,00
I	0,36 (0,30; 0,70)	39	0	0,66 (0,30; 1,12)	25	2	570; -1,93; 0,05
K	168,40 (73,48; 349,01)	14	21	105,71 (44,34; 164,56)	15	7	698; -2,05; 0,04
Li	0,012 (0,012; 0,013)	0	0	0,015 (0,012; 0,027)	2	2	614,5; -2,81; 0,01
Mg	21,05 (13,97; 32,88)	46	0	26,20 (18,86; 36,07)	26	2	750; -1,63; 0,10
Mn	0,30 (0,20; 0,44)	4	0	0,43 (0,29; 0,78)	2	4	573; -3,06; 0,00
Na	226,90 (133,70; 576,10)	7	7	207,16 (62,59; 476,58)	18	7	838; -0,92; 0,36
Ni	0,15 (0,11; 0,30)	0	0	0,21 (0,15; 0,33)	0	2	757; -1,57; 0,12
P	133,44 (116,83; 164,80)	4	0	161,23 (143,75; 174,04)	0	2	562; -3,14; 0,00
Pb	0,37 (0,13; 0,79)	0	7	0,47 (0,29; 0,88)	0	4	765; -1,51; 0,13
Se	0,30 (0,20; 0,49)	14	0	0,38 (0,30; 0,51)	9	0	741; -1,70; 0,09
Si	30,92 (14,13; 43,84)	7	4	32,19 (20,10; 47,51)	3	4	866; -0,69; 0,49
Sn	0,06 (0,04; 0,09)	0	0	0,09 (0,06; 0,17)	0	0	577; -2,71; 0,01
V	0,10 (0,04; 0,16)	4	0	0,11 (0,03; 0,19)	0	9	858; -3,76; 0,00
Zn	154,95 (135,05; 170,00)	4	7	190,70 (166,68; 216,78)	3	13	485; -3,76; 0,00

П р и м е ч а н и е : U – критерий Манна–Уитни; Z – соответствует t-критерию Стьюдента для независимых выборок; p – уровень значимости; полужирным шрифтом выделены элементы, различия концентраций которых в сравниваемых группах достоверны (при  $p < 0,05$ )

Полученные данные позволяют оценить элементный статус обследованного контингента относительно среднероссийских значений концентраций МЭ в волосах людей, а также проанализировать межгрупповые различия в содержании химических элементов в волосах обследуемых. При сопоставлении медианных значений концентраций МЭ в волосах обследованного контингента с референтными значениями концентрации химических элементов в волосах, полученных методом ИСП-АЭС, выявлено следующее. В волосах юношей ниже нижней границы референтных интервалов находятся медианы концентраций эссенциальных Ca, Co, Fe, Se, условно-эссенциальных и токсичных Al и Pb. В волосах мужчин ниже 25-го перцентиля оказались значения концентраций Ca, Co, Mg, Se. Концентрация Si в волосах у всех обследованных значительно превысила верхнюю границу референтных величин. Говоря о межгрупповых различиях содержания в волосах химических элементов, интересно отметить, что концентрации всех химических элементов в волосах юношей были ниже аналогичных значений показателя в организме мужчин, за исключением концентрации K и Na, содержание которых было выше в волосах юношей, но находилось, однако, в пределах нормальных значений. Принимая во внимание то, что именно для подросткового и юношеского возрастного периода свойственны интенсивные физические и психоэмоциональные нагрузки, не всегда полноценное (сбалансированное) питание, наличие вредных привычек, пониженные концентрации основных жизненно важных элементов вполне объяснимы и связаны, вероятно, с активным перераспределением и включением МЭ в основные процессы жизнедеятельности для обеспечения нормального функционирования основных регуляторных систем организма.

Основные нарушения «элементного портрета» изученного контингента г. Магадана можно представить в виде формул элементного дисбаланса,

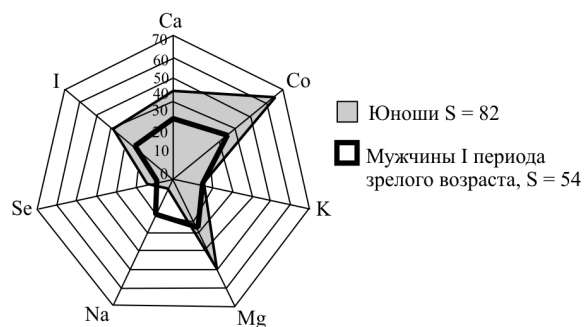
расположив элементы в порядке убывания частоты отклонения в группе:

$$\text{у юношей} - \frac{K}{Co, Mg, Ca, I, K, Se};$$

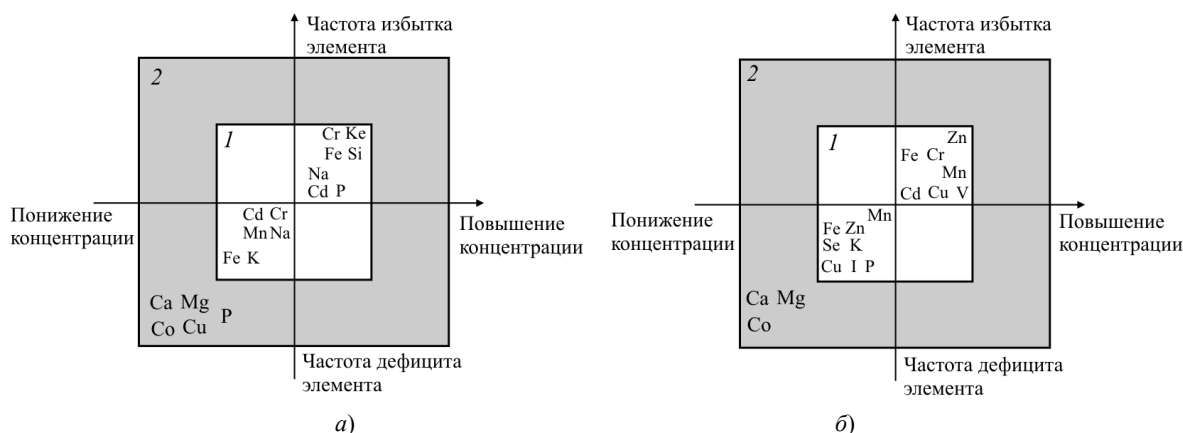
$$\text{у мужчин I зрелого возраста} - \frac{Zn}{Co, Ca, Mg, I, Na, K}.$$

На рис. 1 представлена лепестковая диаграмма с расчетом общих площадей фигур, отражающих суммарную величину выраженного дефицита концентрации химического элемента в группе, для визуализации степени отклонения в элементном профиле обследованных лиц, где S (усл. ед.<sup>2</sup>) – суммарная площадь дефицита химических элементов в исследуемой группе, рассчитанная путем сложения площадей треугольников, длина сторон которых равна показателю частоты выявленного нарушения (в %) принятая за условную единицу.

Структуру элементных отклонений иллюстрировали также номограммами-мишенями, отражающими степень распространения дефицита и избытка МЭ в частотном отношении в изучаемых группах.



**Рис. 1.** Диаграмма нарушений элементного баланса (дефицит) в организме юношей и мужчин I периода зрелого возраста г. Магадана



**Рис. 2.** Номограммы дисбаланса макро- и микроэлементов в организме юношей и мужчин I периода зрелого возраста г. Магадана:  
а – юноши; б – мужчины I периода зрелого возраста;  
1 – область умеренных отклонений; 2 – область значительных отклонений

В одной из работ авторов (Луговая, Максимов, 2012) были представлены оценочные таблицы, где показана зависимость частоты встречаемости нарушения содержания того или иного биоэлемента в организме от территории проживания, пола и возраста человека.

Поскольку химические элементы обладают широким спектром синергических и антагонистических взаимоотношений в организме, авторами проведен анализ корреляционных связей между ними. Характерно, что в структуре корреляционных связей у юношей было выявлено 13 положительных сильных корреляционных связей ( $r > |0,7|$ ,  $p < 0,05$ ): Al/Co ( $r = 0,71$ ), As/Cr (0,78), As/V (0,88), Ca/Mg (0,79), Ca/Mn (0,75), Cd/Pb (0,83), Cd/Sn (0,78), Pb/Sn (0,71), Co/Fe (0,78), Cr/V (0,86), Fe/Mn (0,70), K/Na (0,72), K/Pb (0,73), в то время как в группе мужчин зафиксировано две такие взаимосвязи: As/V (0,80) и K/Na (0,72). При этом значения коэффициентов детерминации у юношей варьировали от  $R^2 = 0,50$  усл. ед. до  $R^2 = 0,77$  усл. ед., у мужчин I периода зрелого возраста – от  $R^2 = 0,52$  усл. ед. до  $R^2 = 0,64$  усл. ед., т.е. степень проявления взаимовлияний в элементной системе организма в обнаруженных парах элементов у обследованных лиц была значительной – 53–77%.

При анализе корреляционных связей применяли подход с расчетом показателя степени адаптированности функциональной системы организма, к которой мы отнесли так называемую «элементную» систему – набор из 25 макро- и микроэлементов, представляющий собой стандартный комплекс химических элементов, определяемый спектрометрическими методами в лаборатории доктора А.В. Скального (Москва) для оценки обеспеченности организма эссенциальными элементами (Скальный, 2000). Этот подход неоднократно использован авторами для сравнения степени адаптированности элементной системы организма у разных групп населения Северо-Востока России (Луговая, Максимов, 2007; Максимов, Луговая, 2010; Луговая, Бабаниязов, 2011; Луговая, Максимов, 2012; Луговая и др., 2013).

Значение показателя степени адаптированности

элементной системы организма (48 усл. ед. в группе юношей и 13 усл. ед. в группе мужчин I периода зрелого возраста), позволяет предположить, что в ответ на напряжение, которое испытывает организм в юношеском возрастном периоде, для достижения стабильного равновесного состояния одна из основных регуляторных систем (элементная) формирует максимальное число устойчивых связей внутри системы для обеспечения функциональных резервов организма в условиях постоянного действия экстремальных факторов.

Для оценки степени нестабильности (стабильности) химического элемента по отношению к индивидуальному распределению концентраций в субстрате применяли интегральный относительный показатель – коэффициент статистической нестабильности, который может быть использован при сравнительном анализе данных многоэлементного анализа, полученных у людей разных групп (мужчин и женщин, до и после лечения, до родов и после родов и т.п.) (Рудаков и др., 2006).

Коэффициент статистической нестабильности (КСН), отражающий степень индивидуального разброса величины концентрации каждого элемента в волосах обследованного контингента, позволил в зависимости от распределения и индивидуальных колебаний концентрации в волосах классифицировать изученные элементы как статистически стабильные (КСН от 1 до 10), средне-стабильные (КСН от 11 до 40) и низкостабильные (КСН от 41 и выше) (табл. 2). Характерно, что в зависимости от возраста в элементной системе организма юношей и мужчин I периода зрелого возраста формируются различные по стабильности группы химических элементов.

В случае необходимости более детальной оценки нарушений элементного баланса в организме интерес представляет еще и изменение соотношения отдельных химических элементов, как фактор более высокого порядка, несущий дополнительную информацию при изучении влияния исходных показателей на метаболические процессы. Наиболее значимыми считаются соотношения Na/K, Ca/P, Ca/Mg, Cu/Zn, Cu/Fe, Ca/Pb, Fe/Pb,

*Таблица 2. Статистическая характеристика изученных элементов в зависимости от распределения и индивидуальных колебаний их концентрации в волосах юношей и мужчин I периода зрелого возраста г. Магадана*

Обследованные лица		Характеристика стабильности элемента
Юноши (n = 54)	Мужчины I периода зрелого возраста (n = 68)	
As, Ca, Cr, <b>Cu</b> , Fe, Li, Mg, Ni, <b>P</b> , Se, Si, Sn, <b>Zn</b> , I	<b>Cu, P, Zn</b>	Высокая степень
<b>Al</b> , Cd, Be, <b>K, Mn, Mg</b> , Pb, V, <b>Hg, B</b>	<b>Al</b> , As, Ca, Cr, Fe, <b>K</b> , Na, Ni, Se, Si, I, <b>Hg, B, Mn, Mg</b>	Средняя степень
<b>Co</b>	Cd, <b>Co</b> , Li, Pb, Sn, V, Be	Низкая степень

П р и м е ч а н и е : полужирным шрифтом выделены одинаковые элементы в группах обследованных юношей и мужчин I периода зрелого возраста.

Sr/Ca (Гресь, Тарасюк, 2008; Алиджанова и др., 2010). Кроме того, для выявления возможных совокупностей и комбинаций отдельных химических элементов на основе присущих им внутрисистемных синергических и антагонистических взаимоотношений целесообразно в ряде случаев применять факторный анализ, позволяющий выявить основные факторы, наиболее полно описывающих структуру элементных комплексов (Суханова, Луговая, 2014). Учитывая то, что число факторов значительно меньше числа химических элементов, образующих множества разнонаправленных взаимосвязей, факторный анализ данных позволяет с достаточной точностью интерпретировать данные о содержании химических элементов в организме обследуемого контингента.

В работе А.В. Скального и коллег (Скальный и др., 2014) представлен подход сравнения среднероссийских и региональных средних значений содержания химических элементов в волосах с учетом различий в стандартных отклонениях ( $\sigma$  рф/ $\sigma$  рег). Для оценки взаимного влияния изменения концентрации одного химического элемента в ответ на изменение концентрации другого и установления аналитического выражения стохастической зависимости между исследуемыми признаками в системе «элемент – элемент» возможно построение уравнения регрессии по результатам регрессионного анализа. Значение коэффициента регрессии (R) также отражает силу и направленность взаимосвязи концентрации элемента от изменяющегося признака (например, возраста, массы тела, сезона года и т.п.) и может быть использовано при анализе на индивидуальном и групповом уровнях (Луговая, 2002).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе приведены далеко не все подходы к возможному анализу данных, но результаты проведенного исследования позволяют говорить о том, что элементный статус организма человека как на индивидуальном, так и на популяционном уровнях можно оценить путем определения абсолютных значений концентраций элементов в биологических субстратах человека и с помощью разнообразных методов параметрической и непараметрической статистики, расчёта интегральных индексов, показателей, коэффициентов, а также путем построения различного рода диаграмм, графиков, схем для визуализации получаемых результатов.

Изучение баланса химических элементов в биосистеме «человек – среда обитания» на конкретной территории проживания, разработанного на уровне района, города, области, позволит проводить гигиенический мониторинг состояния здоровья населения, формировать группы риска по гипо- и гиперэлементозам, оценивать взаимозависимости многосторонних связей цепи «человек – среда обитания», составлять карты экологическо-

го природного и техногенного неблагополучия регионов, обосновывать рекомендации по коррекции микронутриентного дисбаланса, что может стать ведущим гигиеническим критерием оценки эффективности профилактических мероприятий, адаптированных к потребностям жителей конкретного региона проживания (Гузик и др., 2012).

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Алиджанова И.Э., Нотова С.В., Кияева Е.В. Влияние стрессорных факторов различной природы на накопление химических элементов в теле лабораторных животных. Вестник ОГУ. 2010. №12. С.18–21.

(Alidzhanova I.E., Notova S.V., Kijaeva E.V. [Influence of stress factors of various nature on accumulation of chemical elements in laboratory animals]. Vestnik OGU. 2010, 12:18-21 [in Russ]).

Баевский Р.М., Максимов А.Л., Берсенева А.П. Основы экологической валеологии человека. Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 2001. 267 с.

(Baevskij R.M., Maksimov A.L., Berseneva A.P. [Fundamentals of ecological valeology of human]. Magadan: SVNC DVO RAN. 2001. 267 p. [in Russ]).

Горбань А.Н., Смирнова Е.В., Чеусова Е.П. Групповой стресс: динамика корреляций при адаптации и организация систем экологических факторов. Рукопись депонирована в ВИНТИ 17.07.97, № 2434В97. 54 с.

(Gorban A.N., Smirnova E.V., Cheusova E.P. [Group stress: the dynamics of correlations under adaptation and the organization of environmental factors]. Deposited in VINITI 17.07.97, № 2434V97 [in Russ]).

Гресь Н.А., Тарасюк И.В. Оценка метаболических связей кальция, фосфора, калия с использованием коэффициентов Ca/P, Ca/K. Микроэлементы в медицине. 2008. Т.9, вып.1–2. С.10–11.

(Gres N.A., Tarasjuk I.V. [Evaluation of metabolic relationships between calcium, phosphorus and potassium using Ca/P, Ca/K coefficients]. Trace Elements in Medicine (Moscow). 2008, 9(1–2):10–11 [in Russ]).

Гузик Е.О., Гресь Н.А., Романюк А.Г., Ивашкевич Л.С., Зайцев В.А., Сокол В.П., Кухта Т.С., Богдевич И.М., Лаптенюк С.А. Метод гигиенической оценки баланса химических элементов у детей (региональный микроэлементный паспорт). Рег. № 015–1112. Минск. 2012.

(Guzik E.O., Gres N.A., Romanyuk A.G., Ivashkevich L.S., Zaytsev V.A., Sokol V.P., Kukhta T.S., Bogdevich I.M., Laptenok S.A. [A method for hygienic estimation of the balance of chemical elements in children (regional microelemental passport)]. Minsk. 2012 [in Russ]).

Ефимова А.В., Бульбан А.П., Луговая Е.А. Элементный статус детей в различных климато-географических условиях Магаданского региона. Сб. статей по материалам X научн. конф. аспирантов и молодых исследователей Северн. Междунар. ун-та «Идеи,

гипотезы, поиск». Магадан: Изд-во СМУ, 2003. Вып. X. С. 123–125.

(Efimova A.V., Bulban A.P., Lugovaya E.A. [Elemental status of children in various climatic and geographical conditions of the Magadan region]. Proc. X Sci. Conf. "Ideas, hypotheses, search". Magadan, 2003. Issue X:123–125 [in Russ]).

Корчина Т.Я. Биотический обмен веществ и элементный портрет человека. Экология человека. 2007. № 3. С. 32–36.

(Korchina T.Ya. [Biotic metabolism and the human elemental portrait]. Ekologiya cheloveka. 2007, 3:32–36 [in Russ]).

Луговая Е.А. Взаимосвязь возрастных изменений структуры щитовидной железы и уровня микроэлементов у жителей Магадана. Дисс. канд. биол. наук: 14.00.53. СПб. 2002. 165 с.

(Lugovaya E.A. [Interrelation between age changes in thyroid gland structure and the level of trace elements in Magadan residents]. PhD thesis. Saint Petersburg, 2002 [in Russ]).

Луговая Е.А., Атласова Е.М. Содержание биоэлементов в волосах детей дошкольного возраста г. Магадана. Фундаментальные исследования. 2012. № 9. Ч. 4. С. 811–815.

(Lugovaya E.A., Atlasova E.M. [Content of bioelements in hair of preschool children in Magadan]. Fundamental'nye issledovaniya. 2012, 9(4):811–815 [in Russ]).

Луговая Е.А., Бабаниязов Х.Х. Коррекция элементного дисбаланса у жителей г. Магадана, регулярно занимающихся спортом, препаратами цинка и кобальта. Вестник восстановительной медицины. 2011. № 5. С. 57–60.

(Lugovaya E.A., Babaniyazov Kh.Kh. [Correction of elemental imbalance in regularly exercising Magadan residents by zinc and cobalt preparations]. Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny. 2011, 5:57–60 [in Russ]).

Луговая Е.А., Максимов А.Л. Особенности микроэлементного статуса у девочек различных районов Магаданской области. Экология человека. 2007. № 1. С. 24–29.

(Lugovaya E.A., Maksimov A.L. [Peculiarities of trace element status in girls from different areas of the Magadan region]. Ekologiya cheloveka. 2007, 1:24–29 [in Russ]).

Луговая Е.А., Максимов А.Л. Элементный профиль организма жителей Северо-Востока России. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2012. № 6. С. 17–21.

(Lugovaya E.A., Maksimov A.L. [Body elemental profile of residents of the North-East of Russia]. Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2012, 6:17–21 [in Russ]).

Луговая Е.А., Максимов А.Л., Степанова Е.М. Особенности минерального обмена старших школьников г. Магадана. Вестник ДВО РАН. 2013. № 5. С. 133–137.

(Lugovaya E.A., Maksimov A.L., Stepanova E.M. [Peculiarities of mineral metabolism in high-school children in Magadan]. Vestnik DVO RAN. 2013, 5:133–137 [in Russ]).

Максимов А.Л., Бартош Т.П. Влияние условий труда и природно-экологических факторов Северо-Востока России на гормональный статус женщин, занятых в золотодобывающем производстве. Экология человека. 1999. №2. С. 12–15.

(Maksimov A.L., Bartosh T.P. [Influence of working conditions and environmental factors of the North-East of Russia on the hormonal status of women employed in gold mining production]. Ekologiya cheloveka. 1999, 2:12–15 [in Russ]).

Максимов А.Л., Луговая Е.А. Сравнительная оценка элементного статуса девочек-аборигенов жителей различных районов Северо-Востока России. Экология человека. 2010. № 7. С. 30–35.

(Maksimov A.L., Lugovaya E.A. [Comparative estimation of the element status of aboriginal girls residing different areas of the North-East of Russia]. Ekologiya cheloveka. 2010, 7:30–35 [in Russ]).

Мельников А.А., Савин А.А., Емельянова Л.В., Видуков А.Д. Устойчивость позы во время статического напряжения до и после субмаксимального аэробного велоэргометрического теста у спортсменов. Физиология человека. 2012. Т. 38. № 2. С. 66–72.

(Melnikov A.A., Savin A.A., Emelyanova L.V., Vikulov A.D. [Pose sustainability during static tension before and after submaximal aerobic cycloergometric test in athletes]. Fiziologiya cheloveka. 2012, 38(2):66–72 [in Russ]).

Рудаков И.А., Егорова Г.А., Скальный А.В., Шиц И.В. Коэффициент статистической нестабильности – дополнительный критерий при оценке результатов многоэлементного анализа волос. Микроэлементы в медицине. 2006. № 7 (4). С. 1–6.

(Rudakov I.A., Egorova G.A., Skalny A.V., Shits I.V. [The coefficient of statistical volatility – an additional criterion when evaluating the results of multielement hair analysis]. Trace elements in medicine (Moscow). 2006, 7(4):1–6 [in Russ]).

Скальная М.Г., Демидов В.А., Скальный А.В. О пределах физиологического (нормального) содержания Ca, Mg, P, Fe, Zn и Cu в волосах человека. Микроэлементы в медицине. 2003. №4 (2). С. 5–10.

(Skalnaya M.G., Demidov V.A., Skalny A.V. [About the range of physiological (normal) content of Ca, Mg, P, Fe, Zn and Cu in human hair]. Trace elements in medicine (Moscow). 2003, 4(2):5–10 [in Russ]).

Скальный А.В. Эколого-физиологическое обоснование эффективности использования макро- и микроэлементов при нарушениях гомеостаза у обследуемых из различных климато-географических регионов. Дисс. докт. мед. наук. М., 2000. 361 с.

(Skalny A.V. [Ecological and physiological substantiation of the efficiency of use of macro and trace elements at homeostatic disorders in subjects from various climatogeographical regions]. MD thesis. Moscow, 2000 [in Russ]).

Скальный А.В. Установление границ допустимого содержания химических элементов в волосах детей с применением центильных шкал. Вестник СПб Гос. мед. академии им. И.И. Мечникова. 2002. № 1–2 (3). С. 62–65.

(Skalny A.V. [Establishment of limits of allowable contents of chemical elements in hair of children using centile scales]. Bulletin of I.I.Mechnikov Saint Petersburg State Medical Academy. 2002, 1-2(3):62–65 [in Russ]).

Скальный А.В. Референтные значения концентраций химических элементов в волосах, полученные методом ИСП–АЭС (АНО Центр биотической медицины). Микроэлементы в медицине. 2003. № 4 (1). С. 55–56.

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

Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Издательский дом «Оникс 21 век»: Мир, 2004. 216 с.

(Skalny A.V. [Chemical elements in human physiology and ecology]. Moscow, 2004 [in Russ]).

Скальный А.В., Мирошников С.А., Нотова С.В., Болодурин И.П., Мирошников С.В., Алиджанова И.Э. Региональные особенности элементного гомеостаза как

показатель эколого-физиологической адаптации. Экология человека. 2014. № 9. С. 14–17.

(Skalny A.V., Miroshnikov S.A., Notova S.V., Bolodurina I.P., Miroshnikov S.V., Alidzhanova I.E. [Regional peculiarities of element homeostasis as an indicator of ecological and physiological adaptation]. *Ekologiya cheloveka*. 2014, 9:14–17 [in Russ]).

Сороко С.И., Бурых Э.А., Бекшаев С.С., Сергеева Е.Г. Комплексное многопараметрическое исследование системных реакций организма человека при дозированном гипоксическом воздействии. Физиология человека. 2005. Т.31, №5. С. 88–109.

(Soroko S.I., Burykh E.A., Bekshaev S.S., Sergeeva E.G. [Complex multiparametric study of systemic reactions of human body during dosed hypoxia]. *Fiziologiya cheloveka*. 2005, 31(5):88–109 [in Russ]).

Суханова И.В., Луговая Е.А. Комплексная оценка функционального состояния и микроэлементного статуса организма мужчин г. Магадана. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2014. Т. 12. № 7. С. 50–57.

(Suhanova I.V., Lugovaya E.A. [Complex estimation of body functional state and trace element status of men in Magadan]. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2014, 12(7): 50–57 [in Russ]).

Grabeklis A.R., Skalny A.V. Hair elemental content of teenagers: influence of physiological and ecological factors. Микроэлементы в медицине. 2003. № 4 (3). С. 25–31.

(Grabeklis A.R., Skalny A.V. Hair elemental content of teenagers: influence of physiological and ecological factors. *Trace elements in medicine (Moscow)*. 2003, 4(3):25–31).

## APPROACHES TO THE BODY ELEMENT STATUS ASSESSMENT

*E.A. Lugovaya<sup>1</sup>, E.M. Stepanova<sup>1</sup>, A.L. Gorbachev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Scientific Research Center «Arktika», Karl Marx str. 24, Magadan, 685000, Russia

<sup>2</sup> North-Eastern State University, Portovaya str. 13, Magadan, 685000, Russia

**ABSTRACT.** To illustrate the complex approach to the body element status assessment, we studied the data from multielement analysis of hair samples taken from male adolescents ( $18.75 \pm 0.19$  years old,  $n = 54$ ) and young adults ( $27.90 \pm 0.46$  years old,  $n = 68$ ) who were born and resided in Russia's Asian north (the city of Magadan). In the adolescents, median concentrations of Ca, Co, Fe, Se, Al and Pb were below the lower limit of referent interval. In the adult subjects this was observed for Ca, Co, Mg, and Se. The concentration of Si, on the contrary, proved to be higher than the higher referent limit in both adolescents and adults. When comparing the two age groups, the younger ones have almost all essential elements (excepting K and N) lower than the older ones. Besides, the younger subjects demonstrated 13 positive correlations in content of different chemical elements ( $r > |0.7|$ ,  $p < 0.05$ ), while the older subjects showed only two. Of note, the coefficient of determination in the adolescent males varied from  $R^2 = 0.50$  to  $R^2 = 0.77$  while in the adult subjects it was from  $R^2 = 0.52$  to  $R^2 = 0.64$ . Thus, the interdependence observed for the element pairs in both examined groups was rather significant, 53–77%. The index of mineral metabolism adaptation was calculated as 48 in the adolescent subjects and 13 in the adult subjects, enabled us to suggest that, in response to the tension which the body experiences at the preadult age, the element system – one of the main regulatory systems – forms the maximal number of stable relations within the system in order to maintain steady balance and functional reserves of the body under the continual exposure to extremes.

**KEYWORDS:** macro element, trace element, misbalance, element status assessment.