

УДК [577.118:611.781.1]-053.5(571.53)

DOI: 10.33396/1728-0869-2021-2-13-19

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ ПРОФИЛЬ ВОЛОС ДЕТЕЙ СЕЛЬСКИХ РАЙОНОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 г. Л. Г. Лисецкая

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», г. Ангарск

**Введение.** Изучение элементного состава биологических сред человека является одним из перспективных направлений медицинской науки.

**Цель** работы – оценка микроэлементного статуса волос у детей сельских регионов Иркутской области, отличающихся по климатическим и геохимическим условиям.

**Методы.** Обследованы 372 ребенка в возрасте 6–15 лет. Микроэлементный статус волос детей оценивали атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре AAS-240DUO фирмы «Agilent Technologies» (США). Исследовано содержание трех эссенциальных элементов (цинк, медь, магний) и трех токсичных (ртуть, свинец, кадмий). Данные описывали с помощью медиан (Me) и межквартильных интервалов ( $Q_1-Q_3$ ).

**Результаты.** Наибольшее отклонение от нормы подвержено содержание меди и магния. Содержание меди в биосредах детей семи обследованных районов находилось на уровне 3,48–6,15 мкг/г, интервал  $Q_1-Q_3$  содержания магния у детей Казачинского района составлял 8,89–20,54 мкг/г, что ниже биологически допустимой границы. Концентрация цинка повышена у детей, проживающих в северных районах (212,89–308,52 мкг/г), в то время как в предгорном районе отмечен его дефицит (53,01–66,21 мкг/г). Превышение фонового уровня ртути отмечено в Аларском (0,66–2,30 мкг/г), Балаганском (0,56–1,82 мкг/г) и Катанском (0,34–1,20 мкг/г) районах. Повышенный уровень свинца наблюдался в Аларском районе (1,17–4,26 мкг/г), кадмия – в Катанском (0,22–0,64 мкг/г).

**Выводы.** Установлена региональная специфика накопления эссенциальных и токсичных элементов, что может оказаться основой развития различных патологий. Оценка элементного статуса детей сельских регионов области показала необходимость проведения более интенсивного биомониторинга микроэлементов и всестороннего исследования здоровья детей как особо уязвимой и социально значимой группы риска.

*Ключевые слова:* эссенциальные элементы, токсические элементы, волосы, дети, Юго-Восток Сибири

## CONCENTRATIONS OF TRACE ELEMENTS IN CHILDREN'S HAIR IN RURAL AREAS OF THE IRKUTSK REGION

L. G. Lisetskaya

East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, Russia

**Introduction:** Monitoring of different elements in human biological samples is one of the promising areas of environmental health and medicine.

**Aim:** To assess concentrations of trace element in hair of children - permanent residents of rural areas with different climatic and geochemical conditions in the Irkutsk region, South-Eastern Siberia.

**Methods:** Altogether, 372 children aged 6-15 years took part in the study. Hair concentrations of three essential elements (zinc, copper and magnesium) and three toxic elements (mercury, lead and cadmium) were assessed by the atomic absorption method using AAS-240DUO spectrophotometer (Agilent Technologies, USA). Data were presented using medians (Me) and interquartile ranges ( $Q_1 - Q_3$ ) across the settings and age-groups.

**Results:** The most pronounced deviations from the normal concentrations were observed for copper and magnesium. Concentration of copper in children's hair in the 7 areas varied between 3.48-6.15  $\mu\text{g/g}$ . A half of the children of the Kazachinsky district had concentration of magnesium between 8.89-20.54  $\mu\text{g/g}$  which is below the limit. Concentrations of zinc were greater in the northern districts of the region (212.89-308.52  $\mu\text{g/g}$ ) while in the foothill area a deficiency of zinc (53.01-66.21  $\mu\text{g/g}$ ) was observed. An excessive levels of level of mercury were found in the Alarsky (0.66-2.30  $\mu\text{g/g}$ ), Balagansky (0.56-1.82  $\mu\text{g/g}$ ) and Katansky (0.34-1.20  $\mu\text{g/g}$ ) districts. An increased level of lead was observed in the Alarsky region (1.17-4.26  $\mu\text{g/g}$ ) while increased concentrations of cadmium were observed in the Katansky region (0.22-0.64  $\mu\text{g/g}$ ).

**Conclusions:** Concentrations of essential and toxic elements in children's hair varied between the districts of the Irkutsk region. Our results warrant more biomonitoring research including variables on children's health particularly from the vulnerable groups.

*Key words:* essential elements, toxic elements, hair, children, South-Eastern Siberia

### Библиографическая ссылка:

Лисецкая Л. Г. Элементный профиль волос детей сельских районов Иркутской области // Экология человека. 2021. № 2. С. 13–19.

### For citing:

Lisetskaya L. G. Concentrations of Trace Elements in Children's Hair in Rural Areas of the Irkutsk Region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 2, pp. 13-19.

Структуру элементного профиля организма человека в значительной степени формируют климато-географические условия местности. При этом даже в близкорасположенных регионах эти условия могут существенно отличаться. Иркутская область является

крупнейшим регионом России. Крайняя южная точка области расположена на 51° северной широты, в то время как северная оконечность достигает почти 65 параллели. С севера на юг область протянута на 1 450 километров, что формирует сильно различаю-

щиеся по климатическим и геохимическим условиям территории [1]. Дисбаланс химических элементов в почве, воде и растениях дополняется различной техногенной нагрузкой и суровыми климатическими условиями, следствием чего являются перестройки обменных процессов в организме [25].

Проведение биологического мониторинга эссенциальных микроэлементов и контаминантов в биосредах у различных групп населения является доказательством причинно-следственных зависимостей при выявлении риска здоровью населения. Именно доказательность причинно-следственных связей негативных эффектов факторов экспозиции диктует необходимость расширения знаний об уровнях биомаркеров в различных биосредах. Исследование волос представляет большой интерес для выявления состояния обмена микроэлементов в организме. Многочисленными авторами выявлены особенности элементного портрета жителей отдельных регионов и в Российской Федерации, и за рубежом [2, 17, 18]. Изучение элементного профиля населения как в популяциях вообще, так и в популяционных выборках имеют большое практическое значение для понимания причин распространения экозависимых заболеваний и демографической ситуации в регионе.

В большинстве исследований ведущей причиной негативного воздействия на элементный состав биосубстратов рассматривается поступление антропогенных загрязнителей окружающей среды [27]. Анализ литературных данных показал, что три четверти детей страдают гипозементозом по одному или нескольким важнейшим микроэлементам, у одной трети наблюдается гиперэлементоз [2, 22, 30]. Как правило, при развитии патологий наблюдается мультимикроэлементный дисбаланс, поскольку все звенья метаболических процессов тесно связаны.

Цинк, медь, магний являются одними из важнейших незаменимых микроэлементов. Ртуть, кадмий и свинец относятся к наиболее распространенным токсичным элементам. Медь оказывает всестороннее влияние на организм, которое проявляется в виде связей с ферментами, гормонами и витаминами. Медь как металл переменной валентности играет исключительную роль в поддержании прооксидантно-антиоксидантного равновесия в организме. В восстановленной форме ионы меди являются обязательным условием для перекисного окисления липидов в биологических мембранах. Изменения в системе «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита» сказывается на общей реактивности и сопротивляемости организма [28, 31]. Таким образом, система «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита» является важнейшей характеристикой резервных возможностей организма. При этом активация перекисного окисления обеспечивает мобилизацию гомеостатического механизма адаптации, что особенно важно в малокомфортных климатических условиях.

Цинк является центральным атомом активных групп более чем 80 ферментов. В экспериментах

на животных выявлено, что гипоцинкемия вызывает нарушение прооксидантно-антиоксидантного равновесия, которое проявляется в виде снижения антиоксидантной активности плазмы крови [20, 24, 26]. Ограниченное поступление цинка приводит к снижению устойчивости организма к инфекционным и простудным заболеваниям, нарушениям активности мозговой деятельности [23].

Магний является одним из основных внутриклеточных элементов, входит в качестве кофактора в состав нескольких ферментов гликолиза, выступая тем самым важным элементом регуляции углеводного обмена. В организм человека магний поступает преимущественно с питьевой водой и растительной пищей. Низкие величины в содержании магния были отмечены у детей приарктического и арктического районов Европейского и Азиатского Севера России [3, 22]. Данный факт авторы связывали с малой минерализацией источников питьевого водоснабжения. Низкая минерализация поверхностных вод северных регионов также способствует обедненности минерального состава выращиваемых там растительных продуктов. Кроме того, воздействие на организм низких температур и связанных с этим адаптационных процессов может вызывать усиление метаболизма с участием данного микроэлемента [16, 21, 32].

Хроническое воздействие малых концентраций ртути характеризуется изменением белкового обмена, функции щитовидной железы, иммунологическими сдвигами, что выявили наши исследования, проведенные в Балаганском районе [6]. Воздействие свинца приводит к раннему развитию артериальной гипертензии и атеросклероза [1].

Природный геохимический фон вносит существенные коррективы в суммарную оценку элементного профиля в отдельных регионах. Бедные почвы северных регионов способствуют формированию в организме человека дефицита многих макро- и микроэлементов. Изучение особенностей элементного портрета жителей регионов, расположенных вдали от крупных промышленных центров, существенно расширяют возможности оценки риска развития скрытых и выраженных биоэлементозов [5].

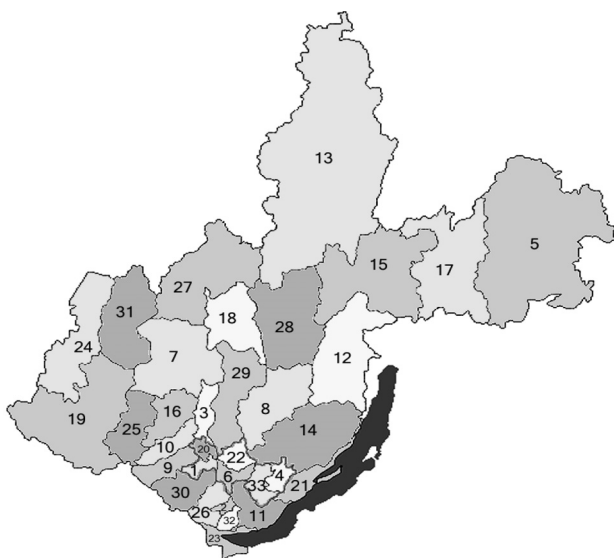
С учетом недостаточной биогеохимической изученности территории Иркутской области представляется актуальным изучение региональных особенностей содержания некоторых микроэлементов у детей отдаленных от промышленных центров сельских регионов.

Цель работы — изучение микроэлементного статуса волос детей, проживающих в сельских регионах Иркутской области.

#### Методы

Для исследования выбраны районы с отличающимися природно-географическими условиями. Были обследованы поселки юго-западной равнинной части региона: село Тыреть (Заларинский район) 53° 40' с. ш., Нукутский район (Нукуты, Новонукутск) 53° 43' с. ш., Аларь 53° 4' с. ш., Усть-Уда 54° 10' с. ш., Балаган-

ский район (Балаганск, Коновалово) 54° 01' с. ш.), Черемхово (53° 09' с. ш.) (рисунок). Климат данной территории резко континентальный, с большими колебаниями суточных и сезонных температур. Зима холодная, январские температуры составляют  $-22,5...-7$  °С. Лето сухое жаркое, температура июля  $-18,3-36$  °С. Среднегодовая температура воздуха составляет  $-3,2$  °С. Ландшафт представлен лесостепной зоной, речная сеть слабо развита. Население вынуждено употреблять подземные воды, которые характеризуются высокой минерализацией и жесткостью. В исследование включены микрорайон Китой (52° 36' с. ш.), являющийся пригородной частью крупного промышленного центра Ангарск, в котором подавляющее количество населения живет в условиях сельского типа вблизи промышленных предприятий, а также поселок Раздолье предгорного региона Усольского района (52° 26' с. ш.). Географические и климатические условия в них соответствуют указанным выше сельским поселениям. Питьевое водоснабжение осуществляется за счет рек Ангара и Китой, вода которых характеризуется низкой минерализацией. Жигаловский район (Хонда, Чикан, Кочень) расположен к северо-востоку от предыдущих населенных пунктов на широте 54° 48', занимает территорию Лено-Ангарского плато. Преобладающие высоты  $-850-950$  м над уровнем моря, наивысшая точка 1 502 м, климат континентальный, среднегодовая температура воздуха  $-5$  °С. Северный регион включает Казачинско-Ленский (Казачинское) 56° 16' с. ш. и Катанский (Ербогачен) 61° 17' с. ш. район. Данные районы имеют статус территорий Крайнего Севера. Катанский район расположен на слабоволнистом плато Среднесибирского плоскогорья. Зимние температуры достигают  $-60$  °С, летние  $+40$  °С. Среднегодовые колебания температур составляет 80 °С. Это зона



Карта Иркутской области. Цифрами показаны районы: 1 – Аларский, 2 – Ангарский, 3 – Балаганский, 8 – Жигаловский, 9 – Заларинский, 12 – Казачинско-Ленский, 13 – Катанский, 20 – Нукутский, 26 – Усольский, 29 – Усть-Удинский, 30 – Черемховский

вечной мерзлоты. Казачинско-Ленский район расположен в северной части Байкальского хребта на высоте 1 200–2 000 м. Амплитуда колебания температуры составляет 89,5 °С. Снежный покров держится 190 дней в году. Все обследованные поселки располагаются на отдаленном расстоянии от крупных промышленных зон и в относительно чистых экологических условиях.

В группы обследования включали детей в возрасте 6–15 лет с информированного согласия родителей (опекунов) в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (Сеул, октябрь 2008). После медицинского осмотра случайным образом были сформированы группы практически здоровых детей европеоидной расы во всех населенных пунктах (всего 372 человека). Отбор волос проводили с затылочной части головы. После обработки проб ацетоном навеску волос минерализовали в тефлоновых стаканчиках с концентрированной азотной кислотой в системе микроволнового разложения. Определение металлов в волосах проводили атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре AAC-240DUO фирмы «Agilent Technologies» (США). Проведено исследование содержания трех эссенциальных элементов (цинк, медь, магний) и трех токсичных (ртуть, свинец, кадмий).

В качестве референсных величин использовали среднероссийские показатели концентрации элементов в волосах детей [13], а также рассчитанные ранее региональные уровни содержания элементов, усредненные для всей территории Иркутской области [8]. Недостаточность микроэлемента считали в случае, когда показатели были ниже референсного уровня РФ. Уровни микроэлементов, выходящие за границы нормального (физиологического) содержания, расценивали как дефицит [14]. В качестве норматива содержания ртути принимали рекомендованные ВОЗ показатели [11].

Статистическую обработку данных проводили методом вариационной статистики с использованием пакета прикладных программ Statistica v. 6.0. Данные представлены в виде медианы (Me) и межквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей ( $Q_1-Q_3$ ).

### Результаты

В результате наших исследований установлено, что наибольшему отклонению от референсного уровня подвержено содержание меди и магния (таблица). Дети 8 районов Иркутской области из 11 исследованных испытывают недостаток меди. Более всего дефицит меди выражен у детей Черемхово, Тьрети, Усть-Уды, Нукутского и Балаганского районов, Жигалово, где концентрации меди уходят за пределы нижней границы содержания металла, которая, по представлению А. В. Скального [14], составляет 7,68 мкг/г. В волосах детей Нукутского района, Раздолья, Тьрети, Алари, Жигалово, Китоя отмечено повышенное содержание магния. В одновозрастных группах из различных населенных пунктов наблюдались как нормальные уровни элементов, так и отклонения в ту или иную сторону.

Содержание элементов в волосах детей сельских районов Иркутской области, мкг/г, Ме ( $Q_1-Q_3$ )

Показатель	Цинк	Медь	Магний	Кадмий	Свинец	Ртуть
Референсный уровень РФ ( $Q_1-Q_3$ ) [13]	94–183	8–12	18–56	0,03–0,18	0,76–2,73	
Региональный референсный уровень (Ме, $Q_1-Q_3$ ) [8]	88,66–164,13	4,51–6,60	19,65–70,64	0,011–0,017	0,56–2,38	0,20–0,72
Границы нормального (физиологического) содержания [14]	71–153	7,68–11,3	15–40	0,05–0,31	0,56–2,80	0,5–1,0 [11]
Раздолье (n = 37) Возраст 11–15 лет	59,25 (53,01–66,21)	8,63 (7,41–9,29)	48,45 (29,98–78,02)	0,014 (0,002–0,03)	0,077 (0,051–0,135)	0,010 (0,002–0,024)
Черемхово (n = 30) Возраст 9–11 лет	154,08 (128,91–168,81)	4,65 (3,97–5,38)	46,99 (32,06–61,68)	0,016 (0,010–0,030)	2,16 (1,14–4,00)	0,22 (0,16–0,37)
Тыреть (n = 39) Возраст 9–11 лет	139,76 (107,93–166,42)	5,07 (4,26–5,81)	94,87 (43,74–132,34)	0,044 (0,025–0,069)	1,44 (0,81–3,45)	0,36 (0,19–0,66)
Усть-Уда (n = 35) Возраст 9–11 лет	100,69 (80,72–118,02)	3,97 (3,64–4,37)	47,56 (29,77–89,20)	0,042 (0,020–0,063)	0,60 (0,25–1,1)	0,57 (0,29–0,99)
Аларь (n = 20) Возраст 9–11 лет	167,30 (158,18–179,42)	6,15 (5,05–7,49)	128,23 (70,19–161,73)	0,032 (0,023–0,053)	3,41 (1,17–4,26)	1,28 (0,66–2,30)
Нукутский район (n = 36) Возраст 9–11 лет	319,96 (240,18–434,18)	4,97 (3,43–8,41)	137,15 (94,93–207,52)	0,015 (0,005–0,024)	0,148 (0,081–0,308)	–
Балаганский район (n = 28) Возраст 7–10 лет	113,3 (74,5–154,1)	3,48 (2,90–7,25)	–	–	2,23 (1,44–3,57)	1,02 (0,56–1,80)
Казачинское (n = 30) Возраст 13–17 лет	86,60 (75,37–99,96)	7,58 (6,61–8,16)	13,37 (8,89–20,54)	0,020 (0,012–0,031)	0,124 (0,063–0,173)	0,080 (0,041–0,203)
Жигалово (n = 39) Возраст 9–11 лет	124,46 (105,97–151,64)	5,45 (4,66–6,13)	119,31 (47,35–156,09)	0,019 (0,011–0,038)	1,05 (0,55–1,55)	0,65 (0,43–1,14)
Катанский район (n = 37) Возраст 6–11 лет	254,16 (212,89–308,52)	8,61 (7,85–9,69)	60,15 (32,82–87,50)	0,38 (0,22–0,64)	–	0,86 (0,34–1,20)
Китой (n = 41) Возраст 11–15 лет	107,82 (93,45–164,92)	10,30 (8,63–12,88)	79,46 (60,51–147,94)	0,023 (0,016–0,034)	0,129 (0,101–0,186)	0,093 (0,044–0,131)

Примечание. Прочерк – отсутствие данных.

Дефицит цинка наблюдается у детей Раздолья и Казачинска, в последнем он усугубляется из-за недостатка магния. В большинстве обследованных населенных пунктах области содержание цинка соответствовало оптимальной концентрации в волосах. Вместе с тем в нашем исследовании в пробах волос детей Катанского и Нукутского районов содержание цинка выше биологически допустимой границы (71–153 мкг/г по А. В. Скальному). Содержание токсичных элементов в целом не превышает референсных уровней, однако можно выделить Аларь, Балаганский и Катанский районы, где наблюдается превышение фонового уровня ртути. При этом в Алари к ртути добавляется свинец, а в Катанском районе – кадмий.

### Обсуждение результатов

Сравнительный анализ данных о содержании микроэлементов в пробах волос у детей различных районов Иркутской области свидетельствует об отличиях микроэлементного профиля волос детей, проживающих в районах с различными природно-климатическими и антропогенными условиями. В большинстве районов это проявляется в локальном дефиците меди, который в некоторых местах усугубляется пониженным содержанием магния и цинка. Для представителей коренного населения Сибири было отмечено наличие более адаптивных вариантов функционирования метаболических процессов и повышенная антиоксидантная

активность, что может свидетельствовать о лучшей адаптации к условиям среды [4, 12, 19]. Представители некоренных народов не обладают такими возможностями и, следовательно, дефицит меди для них более чувствителен. Медь имеет большое значение для правильного развития и поддержания структуры органов, образованных соединительной тканью, в первую очередь костей и хрящей [15]. Исследование заболеваемости детского населения Иркутской области показало, что для отдельных популяций характерно преобладание болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани [10].

Изучение психофизиологических особенностей центральной нервной системы детей сельских местностей Иркутской области выявило, что дети славянской этнической группы характеризуются низким уровнем работоспособности и слабой центральной нервной системой, в то время как у представителей коренного населения отмечены дети преимущественно с высоким уровнем работоспособности и сильным типом центральной нервной системы [9, 29]. Данный факт может подтвердить адаптивный характер психофизических процессов, исторически сложившийся в условиях низкого содержания цинка в природных средах региона.

Выраженный дефицит магния, меди и цинка, обнаруженный нами у детей, по нашему мнению, связан с тем, что их поступление в организм обусловлено алиментарным фактором, в первую очередь состава

вом питьевой воды. Кроме того, у жителей Сибири структура питания близка к азиатскому типу с преобладанием доли жиров и белков [12], что вносит свой вклад в формирование уровня микро- и макроэлементов в организме.

По результатам оценки риска, обусловленного химическим составом питьевой воды, выполненной Управлением Роспотребнадзора, были выявлены районы с неблагоприятным прогнозом детской заболеваемости. В Аларском районе коэффициент опасности (НҚ) выше приемлемого уровня (для детского населения составил 11,2), в Нукутском, Черемховском – 8,8 [7]. Известно, что вода с повышенным содержанием минералов способствует развитию мочекаменной болезни, болезней почек, сердечно-сосудистой системы. По данным Роспотребнадзора, в питьевой воде централизованного и нецентрализованного систем водоснабжения содержание магния превышает ПДК в 1,2–2,0 раза в Нукутском, Черемховском, Заларинском районах. В отдельных источниках нецентрализованного водоснабжения Черемховского района концентрация магния составляла более 5 ПДК. Рассчитанная потенциальная опасность по степени потенциального риска для здоровья населения в Заларинском районе и Тырети в 1,3 раза превышает критерий существенного превышения, в Черемховском районе – в 1,4 раза, в Аларском и Нукутском районах – в 2 раза [10]. За период 2010–2014 гг. кратность превышения областного среднемесячного уровня заболеваемости детского населения по мочекаменной болезни составила в Жигаловском районе 2,4, Балаганском – 1,8, Казачинско-Ленском – 1,5 раза. Болезни крови в Аларском и Нукутском районах встречались чаще в 1,6 раза, в Жигаловском – в 1,4 раза. В Казачинско-Ленском районе болезни нервной системы в 2 раза превышали областной уровень [10].

Хотя уровень изученных токсичных элементов не показал выраженного превышения их в организме, тем не менее выявлены территории с повышенным содержанием ртути, свинца и кадмия в биосредах детей, что свидетельствует о вкладе этих элементов в общий дисбаланс в организме.

В формировании элементного состава алиментарный фактор дополняется природно-климатическими условиями. Климатические условия Иркутской области сильно отличаются от других регионов, лежащих в тех же широтах. Удаленность от морей, расположение в центре азиатского материка приводит к резким перепадам температур. Годовые перепады могут превышать в отдельных районах 80 °С, а суточные – 30. Кроме того, часть территорий приходится на предгорные районы, что вызывает ярко выраженное кислородное голодание. В зимнее время содержание кислорода в атмосфере ниже нормы на 15–20 % [1]. Такие условия формируют малокомфортную зону и вынуждают организм перестраивать обменные процессы, что приводит к изменению микроэлементного баланса организма у жителей северных регионов.

Если рассматривать изученный микроэлементный профиль в целом, можно выделить населенные пункты, где наблюдается дисбаланс по трем и более микроэлементам. Такая картина выявлена в Алари, Нукутском и Балаганском районах, Казачинском. Причиной такого дисбаланса могут быть природно-климатические условия, в первую очередь качество питьевой воды, особенности почвенного состава и связанный с этим алиментарный фактор.

Таким образом, территория Иркутской области вследствие своего размера и разнообразия природно-климатических условий является крайне неоднородной для формирования адаптационных механизмов и приспособительных возможностей при воздействии эколого-географических факторов. Оценка элементного статуса детей сельских регионов области показала необходимость проведения более интенсивного биомониторинга микроэлементов и всестороннего исследования здоровья детей как особо уязвимой и социально значимой группы риска.

#### Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность за организацию отбора биологического материала для исследований и ценные советы по обсуждению и интерпретации полученных данных ведущему научному сотруднику ФБГНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований» д. м. н. Н. В. Ефимовой.

Лисецкая Людмила Гавриловна – ORCID 0000-0002-0876-2304; SPIN 1575-7497.

#### Список литературы / References

1. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. М.; Иркутск: Институт географии СО РАН им. В. Б. Сочавы, Роскартография, 2004. 90 с.
2. Atlas. Irkutsk region: environmental conditions of development. Moscow; Irkutsk, V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS Publ., 2004. 90 p. [In Russian]
3. Бобомуратов Т. А., Расулов С. К., Джураева З. А. Распространенность цинкдефицитного состояния у детей // Электронный инновационный вестник. 2018. № 4. С. 48–50.
4. Bobomuratov T. A., Rasulov S. K., Dzhuraeva Z. A. The prevalence of zinc deficiency in children. *Elektronnii innovatsionnii vestnik* [Electronic innovative bulletin]. 2018, 4, pp. 48-50. [In Russian]
5. Власова О. С., Бичкаева Ф. А., Волкова Н. И., Третьякова Т. В. Соотношение показателей углеводного обмена, обеспеченности биоэлементами, витаминами В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> у детского и подростково-юношеского населения Севера // Экология человека. 2016. № 6. С. 15–19.
6. Vlasova O. S., Bichkaeva F. A., Volkova N. I., Tretyakova T. S. Correlations of carbohydrate metabolism indexes, provision of bioelements, B1, b2 vitamins in children and adolescents in the North. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2016, 6, pp. 15-19. [In Russian]
7. Даренская М. А., Колесникова Л. И., Рычкова Л. В., Гребенкина Л. А., Храмова Е. Е., Колесников С. И. Показатели метаболического статуса у подростков тофаларов, представителей малого коренного этноса Восточной Сибири // Бюллетень сибирской медицины. 2018. № 2. С. 31–40.

Darenskaya M. A., Kolesnikova L. I., Rychkova L. V., Grebenkina L. A., Khramova E. E., Kolesnikov S. I. Indicators of the metabolic status of tofalar teenagers, representatives of small indigenous ethnoses of Eastern Siberia. *Byulleten' sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2018, 2, pp. 31-40. DOI: 10.20538/1682-0363-2018-2-31-40 [In Russian]

5. Дубовая А. В. Эссенциальные и условно-эссенциальные биоэлементы у детей с нарушениями ритма сердца // Забайкальский медицинский вестник. 2017. № 1. С. 35–43.

Dubovaya A. V. Essential and conditionally essential bioelements in children with cardiac arrhythmias. *Zabaikalskii meditsinskii vestnik* [Transbaikal Medical Bulletin]. 2017, 1, pp. 35-43. [In Russian]

6. Ефимова Н. В., Дьякович М. П., Бичева Г. Г., Лишецкая Л. Г., Коваль П. В., Андрулайтис Л. Д., Безгодков И. В. Изучение здоровья населения в условиях воздействия техногенной ртути // Acta Biomedica Scientifica. 2007. № 2. С. 75–79.

Efimova N. V., Diakovich M. P., Bicheva G. G., Lisetskaya L. G., Koval P. V., Andrulaytis L. D., Bezgodov I. V. Study of public health in terms of exposure to industrial mercury. *Acta Biomedica Scientifica*. 2007, 2, pp.75-79. [In Russian]

7. Ефимова Н. В., Мильникова И. В., Парамонов В. В., Кузьмина М. В., Гребенщикова В. И. Оценка химического загрязнения и риска для здоровья населения Иркутской области // География и природные ресурсы. 2016. № 6. С. 99–104. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-6(99-103)

Efimova N. V., Milnikova I. V., Paramonov V. V., Kuzmina M. V., Grebenshchikova V. I. Assessment of chemical pollution and public health risks in the Irkutsk region. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources]. 2016, 6, pp. 99-104. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-6(99-103) [In Russian]

8. Лишецкая Л. Г., Ефимова Н. В. Региональные референсные показатели содержания микроэлементов в волосах детского населения Иркутской области // Гигиена и санитария. 2016. № 3. С. 266–269.

Lisetskaya L. G., Efimova N. V. Regional reference indices of microelement's contents in hair of children population of Irkutsk region. *Gigiena i Sanitariya*. 2016, 3, pp. 366-369. [In Russian]

9. Мильникова И. В., Ефимова Н. В., Дьякович О. А. Психофизиологические характеристики центральной нервной системы детей сельской местности различных этнических групп Сибири // Экология человека. 2018. № 7. С. 17–23.

Milnikova I. V., Efimova N. V., Diakovich O. A. Psychophysiological Characteristics of the Central Nervous System of Rural children of various Ethnic groups of Siberia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018, 7, pp. 17-23. [In Russian]

10. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Иркутской области в 2016 г.: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 2017. С. 18–33.

On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Irkutsk region in 2016: State report. Moscow, Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2017, pp. 18-33. [In Russian]

11. Ртуть: экологические аспекты применения (гигиенические критерии состояния окружающей среды). Женева: ВОЗ, 1992.

Mercury: Ecology aspects of application (Hygienic criterions of environment state). Geneva, WHO, 1992.

12. Севостьянова Е. В. Особенности липидного и углеводного метаболизма человека на севере (литературный обзор) // Бюллетень сибирской медицины. 2013. № 1. С. 93–100.

Sevostyanova Ye. V. Some features of human lipid and carbohydrate metabolism in the north. *Byulleten' Sibirskoi meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine]. 2013, 1, pp. 93-100. [In Russian]

13. Скальный А. В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС // Микроэлементы в медицине. 2003. № 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. *Microelementy v meditsine* [Trace elements in medicine]. 2003, 1, pp. 55-56. [In Russian]

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

Skalny A. V., Rudakov I. A. *Bioelementy v meditsine* [Bioelements in medicine]. Moscow, ONIX 21 century Publ., 2004, 272 p.

15. Aaseth J., Boivin G., Andersen O. Osteoporosis and trace elements - An overview. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2012, 6, pp. 149-152. DOI: 10.1016/j.jtemb.2012/03/017

16. Belin J., He K. Magnesium physiology and pathogenic mechanisms of the metabolic syndrome. *Magnesium Research*. 2007, 20 (2), pp. 107-129. DOI: 10.1684/mrh.2007. 0096

17. Cai Y. Determination of select trace elements in hair of college students in Jinzhou, China. *Biological trace element Research*. 2011, 144, pp. 469-474. DOI 10.1007/s12011-011-9145-3

18. Carneiro M. F. H., Moresco M. B., Chagas G. R., Souza V. C. O., Rhoden C. R., Barbosa F. Assessment of trace elements in scalp hair of a young urban population in Brazil. *Biological trace element Research*. 2011, 143, pp. 815-824. DOI 10.1007/s12011-010-8947-z

19. Cayir Y., Cayir An, Turan M. J., Kurt N., Kara M., Laloglu E., Ciftel M., Yildirim A. Antioxidant status in blood of obese children: the relation between trace elements, paraoxinase and arylesterase values. *Biological trace element Research*. 2014, 160, pp. 155-160.

20. Gammoh N. Z., Rink L. Zink in infection and inflammation. *Nutrients*. 2017, 9, p. 624. DOI 10.3390/nu9060624

21. Guerrero-Romero F., Rodrigues-Moran M. Low serum magnesium level and metabolic syndrome. *Acta diabetol*. 2002, 39, pp. 209-213.

22. Lugovaya E., Stepanova E. Structure of macro- and trace elements status observed in residents of Magadan Town. *Journal of life sciences*. 2014, 9 (9), pp. 794-797.

23. Lukac N., Massanyi P. Effects of trace elements on the immune system // Epidemiologie, microbiologie, immunologie: casopis spolecnosti pro epidemiologii a microbiologii. *Ceske Lekarske Spolecnosti J. E. Pukkyne*. 2007, 56 (1), pp. 3-9.

24. Michalska-Mosiej M., Socha K., Soroczynska J., Karpinska E., Lazarczyk B., Borawska M. H. Selenium, zink, copper and total antioxidant status in the serum of patients with chronic tonsillitis. *Biological trace element Research*. 2016, 173, pp. 30-34. DOI 10.1007/s12011-016-0634-2

25. Prashanth L., Kattapagari K. K., Chitturi R. T., Baddam V. R. R., Prasad L. K. A review on role of essential trace elements in health and disease. *Journal of Dr. NTR university of Health Sciences*. 2015, 4, iss. 2, pp. 75-85.

26. Salmonowicz B., Krzystek-Korpacka M., Noczynska A. Trace elements, Magnesium and the efficacy of antioxidant

system in children with type 1 diabetes mellitus and their siblings. *Advances in clinical and experimental medicine*. 2014, 23 (2), pp. 259-268.

27. Semenova Yu., Zhunussov Ye., Pivina L., Abisheva A., Tinkov A., Belikhina T., Skalny A., Zhanaspayev M., Bulegenov T., Glushkova N., Lipikhina A., Dauletyarova M., Zhunussova T., Bjorlund G. Trace elements biomonitoring in hair and blood of occupationally unexposed population residing in polluted areas of East Kazakhstan and Pavlodar regions. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2019, 56, pp. 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.07.006>

28. Sies H., Berndt C., Jones D. P. Oxidative stress. *Annual review of biochemistry*. 2017, 86, pp. 715-748. DOI: 10.1146/annurev-biochem-061516-045037

29. Skalny A. V., Mazaletskaya A. L., Ajsuvakova O. P., Bjorklund G., Skalnaya M. S., Chao J. C.-J., Chernova L. N., Shakieva R. A., Kopylov Ph. Yu., Skalny A. A., Tinkov A. A. Serum zinc, copper, zinc-to-copper ratio, and other essential elements and minerals in children with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2020, 58, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.126445>

30. Soroko S. I., Maximova I. A., Protasova O. V. Age and gender features of the content of macro and trace elements in the organisms of children from the European North. *Human physiology*. 2014, 40 (6), pp. 603-612. DOI: 10.1134/so3621197406115

31. Wołonciej M., Milewska E., Roszkowska-Jakimiec W. Trace elements an activator of antioxidant enzymes. *Postepy Higieny i Medycyny. Doswiadczalnej (Online)*. 2016, 31 Dec. 70 (0), pp. 1483-1498. DOI: 10.5604/17322693/1229074

32. Zhang W., Iso H., Ohira T., Date C., Tamakoshi A. Associations of dietary magnesium intake with mortality from cardiovascular disease: The JACC study. *Atherosclerosis*. 2012, 221, pp. 587-595. DOI 10.1016/j.atherosclerosis.2012.01.034

#### Контактная информация:

Лицецкая Людмила Гавриловна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории аналитической экотоксикологии и биомониторинга ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»

Адрес: 665827, г. Ангарск, 12А микрорайон, д. 3, а/я 1170  
E-mail: Lis\_lu154@mail.ru