

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco108758>

# Содержание химических элементов в биосредах организма юношей — жителей Крайнего Севера — на фоне повышенных физических нагрузок

Е.М. Степанова, Е.А. Луговая

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Известно, что во время занятий спортом в организме человека происходят адаптивные процессы, которые помогают приспособиться к условиям регулярной физической нагрузки, и дизадаптивные процессы, связанные с высокой потерей биоэлементов и потребностью в них.

**Цель исследования.** Комплексный анализ элементного профиля организма спортсменов г. Магадана, имеющих высокие спортивные разряды, с выявлением характерных особенностей содержания химических элементов в разных биологических средах (волосы, цельная кровь).

**Материалы и методы.** Проведён комплексный анализ элементного профиля организма спортсменов г. Магадана в возрасте 19–25 лет ( $n=29$ ). Контрольная группа включала юношей аналогичного возраста с обычным режимом физической активности ( $n=22$ ). Определяли наиболее информативную биологическую среду для выявления хронического дисбаланса и оценки степени наиболее типичных нарушений с целью профилактики региональных дисэлементозов и повышения функциональных резервов организма. Вычисляли концентрацию 18 макро- и микроэлементов методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной аргонной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой.

**Результаты.** Концентрация Ca, Co, Fe, Se, Zn в волосах спортсменов была выше аналогичного значения в группе юношей с обычным режимом физической активности. Медиана концентрации Na и P в крови также была выше у спортсменов, а K, Mg, Co, Fe, Se — в крови юношей из контрольной группы. В крови лиц контрольной группы выявлена бо́льшая частота встречаемости дефицита Co, Cu, Zn, Fe, избыток Mg и Se, в группе «спорт» чаще встречается избыток Mn.

**Заключение.** Из представленных в работе данных нельзя сделать однозначный вывод о спорт-индуцированном изменении микроэлементного профиля организма. В некоторых случаях элементный портрет спортсменов схож с элементным портретом жителей Магадана с характерными чертами «северного типа», с выраженным именно в волосах дефицитом эссенциальных минералов, при этом частота встречаемого в волосах дефицита зачастую выше у юношей, не испытывающих повышенных нагрузок. Нами не обнаружено превышение содержания токсичных элементов или тяжёлых металлов в изученных биосредах. Считаем, что для долговременной оценки элементного дисбаланса у спортсменов, который формируется именно в условиях повышенной физической нагрузки, целесообразнее использовать спектральный анализ волос как аккумулирующего биологического субстрата, концентрация химических элементов в котором не подвергается суточным колебаниям на фоне изменения функциональных и психоэмоциональных состояний, а также пищевых предпочтений в течение дня.

**Ключевые слова:** спортсмены; юноши; химические элементы; кровь; волосы; дисбаланс; Крайний Север.

## Как цитировать:

Степанова Е.М., Луговая Е.А. Содержание химических элементов в биосредах организма юношей — жителей Крайнего Севера — на фоне повышенных физических нагрузок // Экология человека. 2022. Т. 29, № 10. С. 709–719. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco108758>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco108758>

# Bio substrate microelement concentrations in young men — residents of the Far North — under increased physical exercises

Evgenia M. Stepanova, Elena A. Lugovaya

Research Center "Arktika" of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** High-level athletic competitions necessitate more strenuous physical activity and this upsets the body's chemistry balance. Numerous mechanisms are in place during sports to adapt to regular physical activity, but as a result, the body is progressively stressed out as it experiences a high loss in the bio-elements associated with intense exercise.

**AIM:** to thoroughly analyze the chemical profiles of athletes residing in the city of Magadan, who have achieved great sporting success, and to identify the unique features of microelement concentrations in subjective samples (hair, whole blood).

**MATERIALS AND METHODS:** The study was conducted to analyze elemental pictures of high-level athletes in the city of Magadan who were between the ages of 19 and 25 ( $n=29$ ). Age-matched men who showed usual levels of physical activity comprise the control group ( $n=22$ ). Different biological substrates (hair and whole blood, among others) were examined to determine the most informative substrate for the identification of the most common types of chronic elemental imbalance. This was considered particularly important for further prevention of typical region-related disorders in the body chemistry by increasing functional reserves. Eighteen macro- and microelements were examined via atomic emission and mass spectrometric methods with inductively coupled argon plasma.

**RESULTS AND DISCUSSION:** The athletes examined in the present study exhibited higher levels of Ca, Co, Fe, Se, and Zn in their hair samples and showed higher median concentrations of blood Na and P, and an excess levels of blood Mn, when compared with the subjects who had moderate levels of physical activity and whose blood examination showed higher values of K, Mg, Co, Fe, Se, the deficiency of Co, Cu, Zn, and Fe, and excess of Mg and Se.

**CONCLUSION:** However, data obtained in the present study did not enable us to explicitly draw inferences regarding sports-induced changes in the body microelement profile. In some cases, the elemental profile of athletes is similar to that of residents of Magadan and they show a typical northern type of deficiency in essential elements expressed in the hair. Notably, the frequency of hair deficits is frequently higher in young men who experience no increased exercise levels. Excessive toxic elements or heavy metals were not identified biological substrates examined in the present study. It was our understanding that long-term assessment of the athletes' elemental imbalance — which is formed under intense physical activity — can be performed through spectral hair analysis. This is attributable to the fact that it is an accumulative bio substrate that shows no day-to-day fluctuations under changeable functional or psychoemotional states, as well as nutrition preferences.

**Keywords:** sportsmens; young men; macroelements; microelements; blood; hair; imbalance; the Far North.

## To cite this article:

Stepanova EM, Lugovaya EA. Bio substrate microelement concentrations in young men — residents of the Far North — under increased physical exercises. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(10):709–719. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco108758>

Received: 22.06.2022

Accepted: 13.10.2022

Published online: 14.11.2022

## ВВЕДЕНИЕ

Во время занятий спортом в организме человека происходят адаптивные процессы, которые помогают приспособиться к условиям регулярной физической нагрузки [1–3]. На фоне роста популярности спорта высших достижений исследование минерального обмена спортсменов под воздействием экстремальных природно-климатических, биогеохимических и социально-экономических факторов Севера приобретает особое значение.

Спорт связан со значительными физическими и психоэмоциональными нагрузками. Длительное функционирование организма в таких условиях, особенно в сочетании с несбалансированным рационом питания как основного внешнего источника поступления макро- и микронутриентов в организм, может стать причиной истощения резервных возможностей и вызвать изменения в обмене веществ [4, 5]. Повышенная физическая активность подразумевает интенсификацию энергетических и пластических процессов, что увеличивает потребность не только в субстратах биологического окисления и «структурных блоках», но и в макро- и микроэлементах [6].

Занятия спортом, в первую очередь на профессиональном уровне, оказывают существенное влияние на обмен микроэлементов в организме. С одной стороны, регулярная физическая нагрузка может приводить к активации (стимуляции) обмена химических элементов, что связано с интенсификацией обменных процессов и общим оздоровлением организма. С другой стороны, экстремальные физические нагрузки обуславливают отрицательный баланс некоторых жизненно необходимых микроэлементов, что может сопровождаться целым рядом проявлений их дефицита [7].

**Цель настоящего исследования.** Комплексный анализ элементного профиля организма юношей г. Магадана, имеющих высокие спортивные разряды, с учётом абсолютного содержания химических элементов в разных биологических средах (волосы, цельная кровь).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование элементного состава волос проведено в двух группах юношей — уроженцев г. Магадана: 1) группа «спорт» с повышенными физическими нагрузками в ходе регулярной спортивной деятельности, участники которой имели 1-й спортивный разряд либо спортивные звания кандидата в мастера спорта и мастера спорта ( $n=29$ , средний возраст —  $24,33 \pm 1,16$  года); 2) группа «контроль» с обычным режимом физической активности ( $n=22$ , средний возраст —  $20,05 \pm 0,47$  года).

Протокол обследования одобрен комиссией по биоэтике Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения Российской академии наук (протокол № 001/020). Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2013)

и в соответствии с ФЗ № 323 «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 г., ФЗ № 152 «О персональных данных» от 27.07.2006 г. До включения в исследование от всех исследуемых получено письменное информированное согласие о добровольном участии в работе.

Забор волос осуществляли на базе Научно-исследовательского центра «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, забор венозной цельной крови — в независимой лаборатории ООО «Юнилаб-Хабаровск». Волосы состригали с затылочной части головы на всю длину в количестве не менее 0,1 г. В образцах волос и цельной крови оценивали содержание 18 макро- и микроэлементов: мышьяка (As), кадмия (Cd), кальция (Ca), кобальта (Co), хрома (Cr), меди (Cu), железа (Fe), йода (I), калия (K), марганца (Mn), магния (Mg), натрия (Na), никеля (Ni), фосфора (P), свинца (Pb), селена (Se), ртути (Hg), цинка (Zn). Кровь в объёме не менее 1 мл брали из локтевой вены в вакуумные пробирки утром натощак (не менее 8–12 ч после последнего приёма пищи) в процедурном кабинете лаборатории, в положении обследуемого «лёжа» или «сидя», в условиях физиологического покоя, с соблюдением правил асептики и антисептики. Никто из добровольцев не применял спортивных или лекарственных препаратов, витаминно-минеральных комплексов как минимум за полгода до проведения обследования. Накануне взятия крови были исключены жирная пища из рациона питания, употребление спиртных напитков, физические нагрузки, стрессовые ситуации, физиотерапевтические процедуры.

Аналитическое исследование проведено методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной аргоновой плазмой (АЭС-ИСП) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой (МС-ИСП) согласно МУК 4.1.1482-03, МУК 4.1.1483-03 на приборах Optima 2000 DV и NexION 300D (PerkinElmer, США) в ООО «Микронутриенты» (Москва). Методика определения в биосубстратах макро- и микроэлементов методом АЭС-ИСП основана на окислительно-кислотной «мокрой» минерализации проб исследуемых биосубстратов и на последующем разложении их на требуемые химические элементы методом АЭС-ИСП с использованием в качестве источника возбуждения высокочастотной индуктивно связанной аргоновой плазмы. Переведение пробы в раствор достигается обработкой её концентрированной азотной кислотой при открытом и автоклавном разложении. Гарантируемая величина пределов обнаружения, достигаемых на оптических спектрометрах с полупроводниковыми детекторами типа CCD (charge-coupled device) и с индуктивно связанной плазмой в качестве источника возбуждения спектров, составляет доли микрограмма на литр. Метод МС-ИСП комбинирует использование индуктивно связанной плазмы в качестве источника ионов с квадрупольным масс-спектрометром, выступающим в роли масс-анализатора (фильтра), и дискретно-диодным детектором, который

используется для регистрации отдельных ионов и их потоков. Достижимые пределы обнаружения (от сотых долей наногаммов до сотен миллиграммов на литр), высокие чувствительность и избирательность метода МС-ИСП позволяют количественно определять во многих биологических и медицинских объектах и материалах до 40–50 элементов в течение 2–3 мин (без учёта времени пробоподготовки). Подготовку образцов биосубстратов к анализу методом МС-ИСП осуществляли методом кислотного разложения («мокрое озоление») с использованием систем микроволновой пробоподготовки. Рабочие стандартные растворы готовили разбавлением стандартных опорных многоэлементных растворов. Опорные стандарты приготавливали, смешивая определённые количества одноэлементных стандартных растворов PerkinElmer для АЭС-ИСП и МС-ИСП. Для получения оперативной информации о качестве анализов и принятия при необходимости оперативных мер по его повышению проводили внутренний контроль качества результатов определения химических элементов (сходимость, воспроизводимость, точность). Оперативный контроль качества осуществляли путём анализа испытуемых проб и стандартного образца, химический состав которого не должен был отличаться от состава испытуемой пробы настолько, чтобы потребовалось изменить методику проведения анализа.

**Статистическую обработку** полученных данных проводили с использованием программы Statistics v. 21.0 (IBM SPSS, США). Характер распределения массива значений концентраций химических элементов определяли методом Колмогорова–Смирнова. Для установления различий между двумя независимыми выборками по количественным показателям, распределение которых отличалось от нормального, применяли U-критерий Манна–Уитни. Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принимали как  $p < 0,05$ . Параметры описательной статистики для количественных показателей приведены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (25-й; 75-й процентиля). При оценке полученных величин содержания макро- и микроэлементов в биосубстратах спортсменов и юношей контрольной группы использовали диапазоны, предлагаемые А.В. Скальным с коллегами [8, 9], как соответствующие средним значениям концентраций химических элементов в популяции (референсным значениям) в качестве верхней и нижней границ физиологической нормы. Полученные значения также сравнивали с региональными показателями содержания макро- и микроэлементов в организме жителей г. Магадана [10]. Анализ вероятностной связи между макро- и микроэлементами анализируемых биосред в организме проводили с помощью ранговой корреляции Спирмена. Коэффициенты корреляции оценивали следующим образом: менее 0,3 — слабая связь, от 0,3 до 0,5 — умеренная, от 0,5 до 0,7 — значительная, от 0,7 до 0,9 — сильная и более 0,9 — очень сильная.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Значения концентраций большего числа определённых в биосредах элементов статистически значимо различалось в группах сравнения.

Концентрация Ca, Co, Fe, Se, Zn в волосах спортсменов была статистически значимо выше аналогичных значений в группе юношей с обычным режимом физической активности. При этом 75-й процентиль в диапазоне концентраций Ca в волосах у спортсменов был выше аналогичного регионального значения в популяции в 1,4 раза, но у всех юношей независимо от степени физической активности содержание макроэлемента было ниже референсных величин. Медиана концентрации эссенциального Co в волосах спортсменов попадала в региональный диапазон, но содержание элемента было ниже референсных значений. Концентрация Fe в волосах спортсменов соответствовала и референсным центильным интервалам, и региональным, однако в группе «контроль» медиана была ниже референсного 25-го центиля в 1,1 раза, регионального — 1,4 раза. Медиана Se в волосах спортсменов была меньше нижней границы референсного диапазона в 1,5 раза, в контрольной группе — в 2,5 раза, соответствовала при этом значениям регионального коридора.

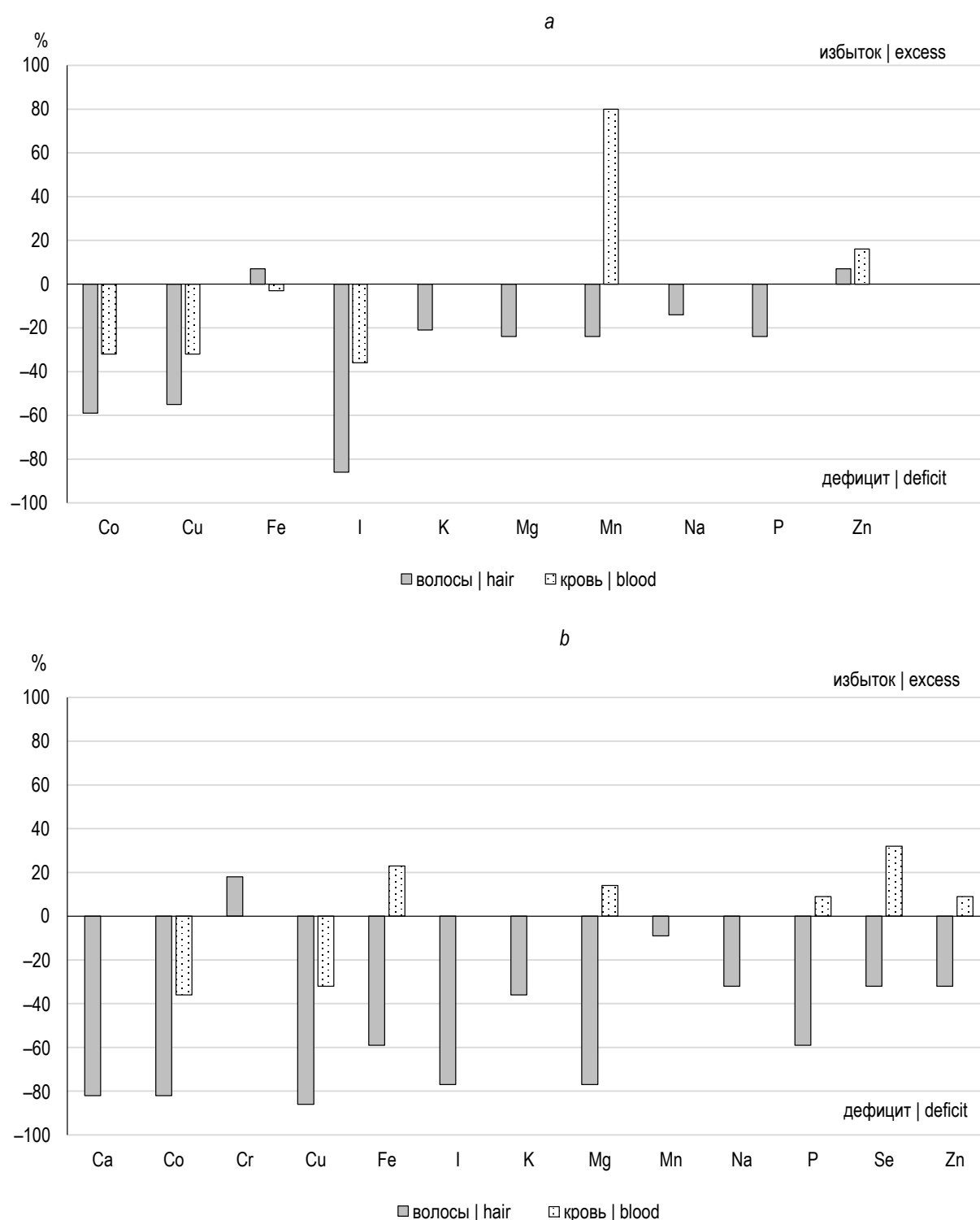
Медианы концентрации Na и P в крови были выше у спортсменов, K, Mg, Co, Fe, Se — в крови юношей из контрольной группы.

Отклонение от нормативных значений в сторону дефицита или избытка химических элементов у лиц с разным режимом физической активности представлено на рис. 1 и будет обсуждаться далее.

Анализ корреляционных взаимоотношений в системе «элемент–элемент/волосы–цельная кровь» показал наличие статистически значимых связей между изучаемыми показателями ( $p < 0,05$ ). В контрольной группе наибольшая значимая связь на уровне  $p=0,05$  выявлена для Fe ( $r=0,441$ ) и Se ( $r=0,438$ ), в группе спортсменов — для Na ( $r=-0,468$ ) на уровне значимости  $p=0,05$ .

Структура взаимосвязей в группах лиц, организм которых испытывает регулярные спортивные нагрузки, и лиц, не испытывающих таких нагрузок, была различна (рис. 2). Общим является в большинстве своём отрицательный характер взаимосвязей элементов в системе, выражающийся обратными корреляционными зависимостями: увеличение/снижение концентрации в одном биологическом субстрате приведёт, напротив, к снижению/увеличению концентрации в другом.

В элементной системе организма юношей контрольной группы Ca цельной крови образует обратную корреляционную зависимость значительной силы с Fe ( $r=-0,543$ ) в волосах; Co — умеренную обратную связь с Cd ( $r=-0,484$ ) и Cu ( $-0,438$ ), значительной силы обратную связь с Fe ( $r=-0,593$ ); Cu — прямую значительную по силе корреляционную зависимость с K ( $r=0,518$ ), Na ( $r=0,667$ ) и умеренной силы — с Se ( $r=0,456$ ). K и Mn



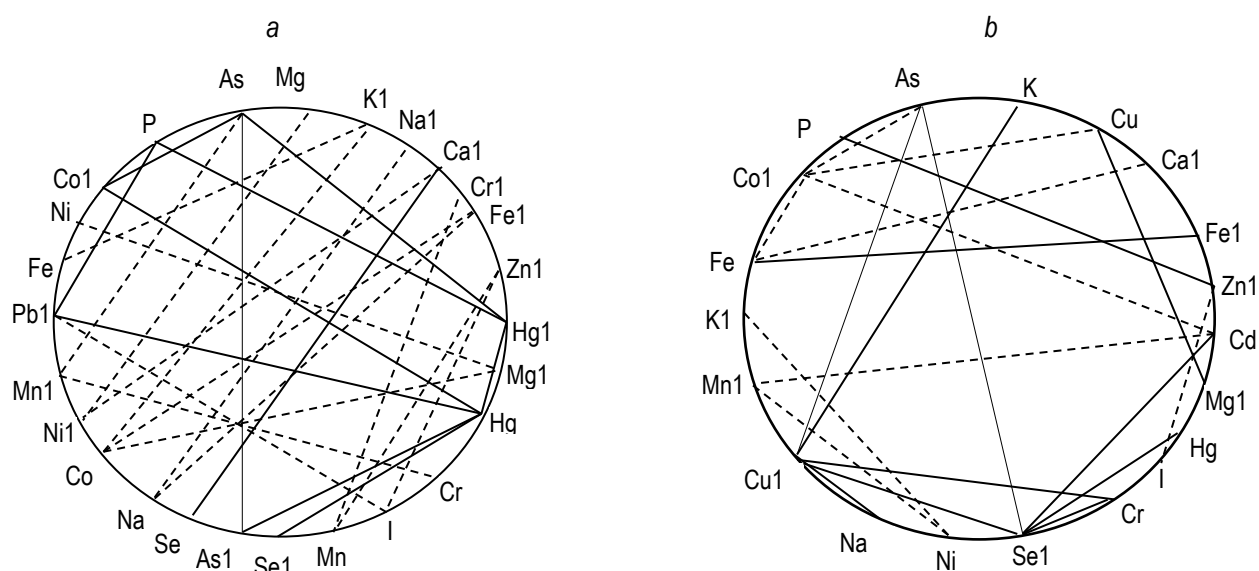
**Рис. 1.** Частота отклонения от референсных значений в сторону дефицита или избытка макро- и микроэлементов у юношей с разным режимом физической активности, %: *а* — группа «Спорт»; *б* — группа «Контроль».

**Fig. 1.** Incidence of deviations from reference values towards the elemental deficit or excess in young men with different mode of physical activity, %: *a* — group "Sport"; *b* — group "Control".

в крови связаны с Ni в волосах умеренной силы обратной связью ( $r=-0,486$ ), концентрация Mg в крови взаимосвязана с концентрацией Cu в волосах ( $r=0,442$ ). Se цельной крови умеренно взаимосвязан с Cd ( $r=0,461$ ) и Cr ( $r=0,490$ ) в волосах, Zn — с P ( $r=0,450$ ).

В группе спортсменов Fe цельной крови образует умеренную обратную связь с Na ( $r=-0,419$ ) в волосах; K — умеренную обратную связь с Co ( $r=-0,447$ ) и значительную — с Fe ( $r=-0,515$ ); Mg умеренно взаимосвязан с Co ( $r=-0,397$ ) и Ni ( $r=-0,398$ ). Ni в цельной крови обратно





**Рис. 2.** Корреляционные взаимосвязи содержания макро- и микроэлементов в волосах (МЭ) и в крови (МЭ1) у юношей с разным режимом физической активности (прямая линия — прямая корреляционная связь, пунктирная линия — обратная корреляционная связь): *a* — группа «Спорт»; *b* — группа «Контроль».

**Fig. 2.** Correlations between hair and blood macro- and microelements in young men with different mode of physical activity (continuous line is for direct correlation; dotted line is for reverse correlation): *a* — group "Sport"; *b* — group "Control".

связан с Ca ( $r=-0,408$ ) и Mg ( $r=-0,425$ ), Pb образует прямую значительную связь с P ( $r=0,603$ ), Ca — с Se ( $r=0,400$ ), Zn — с Mn ( $r=-0,493$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Абсолютные значения концентраций макро- и микроэлементов в волосах представлены в табл. 1, в цельной крови — в табл. 2. Известно, что наиболее важными для восстановления физической работоспособности макроэлементами являются Ca, Mg, K [11]. Спортсмены находятся в группе риска развития дефицита Ca, в том числе за счёт усиленного выведения элемента с потом на фоне интенсивных физических нагрузок [12]. Однако в рамках настоящего исследования медиана концентрации Ca в волосах спортсменов Магадана была в 1,9 раза выше, чем в волосах юношей контрольной группы. При сравнении содержания элемента с референсными и региональными значениями установлено, что в обеих группах оно меньше нижней границы референсных величин, но находится в границах региональных значений. Концентрация Ca в цельной крови находится в границах нормативных величин. В частотном отношении дефицит элемента выявлен только в волосах 82% обследованных лиц контрольной группы. В отдельных исследованиях [3] показано, что спортсмены вне зависимости от возраста и пола характеризуются статистически большей концентрацией Ca в периферической крови. А.В. Скальный с соавт. [7] отмечали, что на фоне статистически значимо большего содержания Ca в группе спортсменов нельзя исключать возможность того, что в данном случае высокий уровень элемента является не показателем адекватной

обеспеченности, а следствием процессов ремоделирования костной ткани и активности остеокластов под влиянием гормонов, регулирующих фосфорно-кальциевый обмен.

Содержание Mg в волосах спортсменов и в контрольной группе было ниже диапазона сравнения [9], достигало нижней границы регионального диапазона в контрольной группе и чуть превышало её в группе спортсменов, что выражалось в дефиците концентрации Mg в биосубстрате у 77% и 24% обследованных лиц соответственно. Значимых межгрупповых различий в содержании элемента в волосах выявлено не было, в цельной крови концентрация Mg у спортсменов была статистически значимо ниже показателя в контрольной группе. Поскольку дефицита микроэлемента в цельной крови у обследуемого контингента не выявлено (в то время как в волосах он был значительным), можно судить об отсутствии острой гипомagneмии у юношей, но о дефицитном состоянии по Mg на протяжении достаточно продолжительного времени, что является региональной особенностью элементного портрета населения Магаданской области и может быть следствием недостаточного его потребления с питьевой водой и пищей, а также интенсификации экскреции. При этом формирующийся дефицит Mg не только негативно сказывается на работоспособности, но и повышает риск развития соматических заболеваний, существенно ограничивающих физическую активность [7].

Значимых различий в содержании K в волосах юношей-спортсменов и юношей, не испытывающих повышенных физических нагрузок, не выявлено, напротив, в цельной крови концентрация элемента у спортсменов была статистически значимо ниже ( $p=0,0001$ ). Медиана

**Таблица 1.** Концентрация макро- и микроэлементов в волосах юношей г. Магадана, мкг/г сухой массы (Me [25%; 75%])**Table 1.** Macro- and microelement concentrations in young men's hair samples of Magadan city, µg/g dry (Me [25%; 75%])

Элементы Elements	Обследованные группы лиц Examined group		Референсные пределы Reference range		p
	«Спорт» Sport (n=29)	«Контроль» Control (n=22)	Референсные границы физиологической нормы Reference range for physiological norm [9, 10]	Региональные значения [8] Regional level	
Макроэлементы Macro elements					
Ca	366,0 [304,0; 472,0]	194,70 [151,38; 229,70]	494–1619	183,80–327,10	0,0003
K	89,03 [48,79; 291,0]	84,26 [28,47; 196,58]	29–159	45,60–166,70	0,458
Mg	25,42 [20,83; 31,43]	18,16 [14,81; 25,86]	39–137	20,56–35,63	0,849
Na	199,00 [75,25; 636,0]	191,40 [74,82; 625,95]	73–331	62,37–414,41	0,985
P	131,00 [120,50; 153,50]	131,10 [107,78; 151,68]	135–181	143,70 – 173,90	0,518
Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы Essential and conditionally essential microelements					
As	0,03 [0,02; 0,04]	0,09 [0,04; 0,13]	0,00–0,56	0,05–0,12	0,0001
Co	0,009 [0,007; 0,018]	0,003 [0,001; 0,004]	0,04–0,16	0,01–0,02	0,0001
Cu	8,80 [7,89; 10,31]	8,76 [8,01; 9,88]	9–14	9,85–12,19	0,955
Cr	0,50 [0,39; 0,73]	0,75 [0,49; 1,08]	0,32–0,96	0,45–1,00	0,016
Fe	18,73 [13,84; 25,93]	9,99 [7,53; 12,20]	11–24	13,86–27,07	0,0002
I	0,18 [0,10; 0,23]	0,30 [0,30; 0,46]	Нет данных	0,31–1,12	0,068
Mn	0,30 [0,17; 0,45]	0,24 [0,20; 0,41]	0,32–1,13	0,27–0,70	0,849
Ni	0,18 [0,12; 0,40]	0,14 [0,11; 0,22]	0,14–0,53	0,15–0,34	0,057
Se	0,45 [0,40; 0,53]	0,27 [0,11; 0,42]	0,69–2,20	0,30–0,51	0,0002
Zn	180,00 [171,50; 207,50]	160,00 [144,65; 173,48]	155–206	166,5–216,90	0,002
Токсичные элементы Toxic elements					
Cd	0,013 [0,009; 0,042]	0,012 [0,006; 0,023]	0,02–0,12	0,01–0,05	0,408
Hg	0,20 [0,09; 0,37]	0,09 [0,03; 0,13]	0,05–2,0	0,21–0,86	0,004
Pb	0,16 [0,07; 0,35]	0,19 [0,08; 0,77]	0,38–1,4	0,30–0,92	0,648

концентрации К в волосах находилась в границах нормативного референсного и регионального центильных коридоров, однако в волосах юношей контрольной группы выявлен дефицит элемента в 36% случаев и избыток — в 18%, а у спортсменов дефицит зафиксирован в 21% случаев. Содержание элемента в цельной крови соответствовало нормативным величинам. Причины гипокалиемии у спортсменов обусловлены перемещением К из плазмы крови и внеклеточного пространства внутрь клеток. Помимо полноценного отдыха своевременное и полноценное восстановление уровней К и Mg в крови позволит уменьшить негативное влияние последствий стресса и подготовить организм спортсменов к новым нагрузкам [13].

Пониженное содержание Са, Mg характерно для элементного профиля организма «северного» типа, что является биогеохимической особенностью Магаданской области и было описано нами ранее в ряде научных исследований [14–16]. Особое значение при этом принадлежит нормальному содержанию этих макроэлементов, играющих важную роль в реализации в организме основных физиологических и биохимических процессов на фоне повышенных физических и психоэмоциональных нагрузок в спорте высших достижений. Обращает на себя внимание тот факт, что в группе спортсменов дисбаланс биоэлементов не так ярко выражен, как в группе юношей, не испытывающих значительных физических нагрузок, что говорит о внимательном отношении

**Таблица 2.** Концентрация макро- и микроэлементов в цельной крови у юношей г. Магадана, мкг/мл (Me [25%; 75%])**Table 2.** Macro- and microelement concentrations in young men's whole blood samples of Magadan city, µg/ml (Me [25%; 75%])

Элементы Elements	Обследованные группы лиц Examined group		Референсные пределы Reference range	p
	«Спорт» Sport (n=29)	«Контроль» Control (n=22)		
Макроэлементы Macro elements				
Ca	59,24 [57,31; 61,86]	56,08 [53,02; 58,73]	50–80	0,009
K	1760 [1684; 1889]	2208,75 [2064,38; 2345,25]	1500–2000	0,0001
Mg	34,15 [32,36; 36,39]	37,69 [36,20; 41,21]	30–40	0,0003
Na	2252 [2132; 2367]	1989,25 [1914,25; 2082,13]	1300–3000	0,0001
P	434 [415,50; 452,50]	400,80 [378,03; 431,83]	375–500	0,003
Эссенциальные и условно-эссенциальные микроэлементы Essential and conditionally essential microelements				
As	0,03 [0,01; 0,04]	0,07 [0,04; 0,10]	Нет данных	0,0001
Co	0,0008 [0,0004; 0,0009]	0,0013 [0,0010; 0,0026]	0,0005–0,0025	0,0004
Cu	0,83 [0,73; 0,89]	0,84 [0,79; 0,89]	0,75–1,45	0,482
Cr	0,0044 [0,0043; 0,0045]	0,0041 [0,0039; 0,0043]	Нет данных	0,386
Fe	499 [491,50; 511]	552,33 [536,40; 593,83]	485–550	0,0001
I	0,03 [0,02; 0,03]	0,03 [0,03; 0,04]	Нет данных	0,601
Mn	0,018 [0,014; 0,019]	0,016 [0,014; 0,019]	0,007–0,015	0,564
Ni	0,0033 [0,0029; 0,0041]	0,0090 [0,0074; 0,00137]	<0,01	0,0001
Se	0,12 [0,11; 0,14]	0,27 [0,25; 0,31]	0,075–0,2	0,0001
Zn	7,56 [6,95; 8,64]	6,67 [5,93; 7,25]	6–9	0,007
Токсичные элементы Toxic elements				
Cd	0,0005 [0,0004; 0,0007]	0,0004 [0,0001; 0,0008]	<0,001	0,319
Hg	0,0007 [0,0004; 0,0011]	0,0007 [0,0003; 0,0010]	<0,001	0,402
Pb	0,010 [0,009; 0,013]	0,020 [0,014; 0,028]	<0,01	0,0001

к поддержанию элементного гомеостаза самих спортсменов, а также тренерского состава.

Среди эссенциальных микроэлементов наиболее выражено изменению при физической нагрузке подвержен гомеостаз Fe, Cu, Se, Co, Mn и Zn [17].

Концентрация Fe в волосах и цельной крови обследованных лиц из обеих групп статистически значимо различалась ( $p=0,0001$ ). Содержание элемента в волосах юношей из группы «контроль» было ниже референсных и региональных величин. Дисбаланс Fe представлен дефицитом концентрации в волосах у 59% и избытком в крови — у 23% обследованных лиц в контрольной группе, однако сочетанный дефицит в волосах и избыток в крови выявлен только у 9% юношей из выборки. Дефицита элемента в биосредах спортсменов не обнаружено.

Медиана концентрации Cu немногим меньше нижней границы референсных диапазонов в волосах и находится в границах референсов в крови. Различия в содержании элемента в биосредах спортсменов и лиц с обычным режимом физической активности не имели статистической значимости. Однако в частотном отношении дефицит выявлен в контрольной группе у 86% юношей в волосах и у 32% — в крови, в группе спортсменов — у 55 и 32% соответственно. Одномоментный дефицит Cu обнаружен у 27% человек в контрольной группе и у 17% — в группе спортсменов. Результаты исследования демонстрируют снижение обеспеченности организма Cu у всех испытуемых, что выражается в значительном дефиците элемента в биоиндикаторных субстратах. При этом важно отметить, что повышенная потребность организма в Cu может



быть связана с её биологическими функциями, такими как участие в тканевом дыхании, антиоксидантной защите, транспорте и всасывании железа [7].

Концентрация Se была статистически значимо выше в волосах и ниже — в цельной крови у спортсменов. Медиана концентрации в волосах у спортсменов укладывалась в диапазон региональных значений, но была меньше нижней границы диапазона сравнения, в контрольной группе медианное значение было ниже референсных границ физиологической нормы и региональных диапазонов. Концентрация элемента в цельной крови спортсменов соответствовала нормативным показателям и была несколько выше значения в контрольной группе. Дисбаланс представлен дефицитом концентрации в волосах и избытком — в цельной крови у 32% лиц из контрольной группы, при этом дисбаланс в волосах и крови был выявлен у разных людей.

Концентрация Co в волосах обследованных юношей была меньше нижней границы референсного и регионального диапазонов, в цельной крови — в целом укладывалась в референсный коридор. Медиана концентрации элемента статистически значимо различалась в анализируемых биосредах: содержание элемента в волосах у спортсменов было выше и, напротив, ниже в цельной крови ( $p=0,0001$ ). При этом в процентном отношении дисбаланс представлен в контрольной группе дефицитом элемента в волосах у 82% и в цельной крови — у 36% юношей, в группе спортсменов — у 59 и 32% соответственно. Дефицит Co в целом — проблема регионального характера вне зависимости от пола и возраста, он зачастую достигает 90% в волосах жителей Магаданской области. В то же время имеющаяся в научной литературе теоретическая база позволяет предположить, что истощение в организме депо кобальта связано с высокой степенью интенсивности физических нагрузок и на фоне этого — со снижением работоспособности [7].

Медиана концентрации Mn в волосах была ниже референсного центильного диапазона, но укладывалась в границы региональных нормативов, частота дефицита в волосах спортсменов при этом составила 25%. Среднегрупповое содержание элемента в цельной крови соответствовало нормативам, но в частотном отношении избыток выявлен у 76% спортсменов. Сочетанный дефицит в волосах и избыток в цельной крови обнаружен у 27% спортсменов. Значимых различий в группах сравнения не выявлено ни в одной биологической среде. По данным О.И. Гараевой [18], снижение концентрации марганца в волосах спортсменов можно связать с тем, что элемент, активируя глутаминсинтетазу, играет важную роль в процессах детоксикации аммиака, концентрация которого значительно увеличивается в процессе интенсивных физических нагрузок. Кроме того, в качестве причины высокой частоты выявленного дефицита можно предположить индуцированную повышенными физическими и психоэмоциональными нагрузками экскрецию элемента,

соответственно перераспределение его в организме, что подтверждается обнаруженной избыточной концентрацией в цельной крови спортсменов.

Концентрация Zn была статистически значимо большей в волосах спортсменов и имела тенденцию к повышению в цельной крови. Медианы элемента укладывались в референсные границы в обеих группах исследования. У 12% спортсменов в крови выявлен дефицит и у 16% — избыток элемента. В контрольной группе дефицит Zn выявлен в волосах у 32% юношей, избыток — в 14% случаев.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из представленных в работе данных нельзя сделать однозначный вывод о спорт-индуцированном изменении микроэлементного профиля организма. Содержание Ca, Co, Fe, Se, Zn в волосах спортсменов было выше, чем в группе юношей с обычным режимом физической активности. Медиана концентрации Na и P в крови была выше у спортсменов, K, Mg, Co, Fe, Se — в крови юношей из контрольной группы. В крови лиц контрольной группы также выявлена большая частота встречаемости дефицита Co, Cu, Zn, Fe, избыток Mg и Se, в группе «спорт» чаще встречается избыток Mn. В некоторых случаях элементный портрет спортсменов схож с элементным портретом жителей Магадана с характерными чертами «северного типа», с выраженным дефицитом эссенциальных минералов, при этом частота встречаемого в биосредах дефицита зачастую выше в биосредах юношей, не испытывающих повышенных нагрузок. Интерес представляют закономерные взаимозависимости концентраций ряда элементов в разных биосубстратах, преимущественно отрицательного характера, выражающиеся обратными корреляционными связями.

Особое значение в выявлении элементных нарушений в организме спортсменов имеет персонализированная диагностика элементного статуса с использованием различных индикаторных биологических субстратов, позволяющая разработать индивидуальные схемы коррекции выявленных нарушений, в соответствии с которыми будут рационально восполнены дефициты отдельных минералов. Элементсодержащие добавки должны применяться лишь после тщательного клинико-лабораторного обследования ввиду возможности реализации токсического действия металлов при их избытке.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

**Вклад авторов:** Е.М. Степанова — сбор и анализ данных, статистический анализ, интерпретация результатов, подготовка обзора литературы, подготовка первого варианта статьи; Е.А. Луговая — подготовка протокола исследования, правки текста, окончательная редакция статьи. Оба автора подтверждают соответствие своего авторства международным критериям

ICMJE (внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Author contributions:** E.M. Stepanova — collected and analyzed the data, performed statistical analysis and interpretation of results, prepared the literature review, prepared the initial draft of the article; E.A. Lugovaya — prepared the study protocol, edited the text, prepared the final revision of the article. Both authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Финансирование исследования.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Магаданской области в рамках реализации конкурса «Грант губернатора молодым учёным».

**Funding sources.** This research was financially supported by the Government of Magadan region as part of implementation of the "Governor's Grant competition for young scientists".

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Competing interests.** Authors declare the absence of any potential conflict of interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиджанова И.Э., Нотова С.В., Кияева Е.В., Мирошников С.В. К вопросу об особенностях изменения макро и микроэлементного обмена на фоне интенсивной физической нагрузки // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 15. С. 19–21.
2. Зырянова Е.А., Смоленский А.В., Григорянц И.А. Особенности построения рационального питания женщин спортсменок (энергетическое голодание как причина нарушений женской репродуктивной системы при физических нагрузках) // Теория и практика физической культуры. 2007. № 8. С. 66–68.
3. Schoeller D.A. Integrating therapeutic and complementary nutrition // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007. Vol. 39. N 7. P. 1207.
4. Гудков А.Б., Дёмин А.В., Долгобородова А.А., Быков А.В. Характеристика постурального контроля у флорболисток национальной сборной России в соревновательном периоде // Теория и практика физической культуры. 2017. № 2. С. 23–26.
5. Нотова С.В., Кияева Е.В., Ермакова Н.В., и др. Элементный и биохимический профиль спортсменов с ограниченными физическими возможностями // *Экология человека*. 2018. Т. 25, № 6. С. 52–58. doi: 10.33396/1728-0869-2018-6-52-58
6. McClung J.P., Gaffney-Stomberg E., Lee J.J. Female athletes: a population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance // *J Trace Elem Med Biol*. 2014. Vol. 28, N 4. P. 388–392. doi: 10.1016/j.jtemb.2014.06.022
7. Скальный А.В., Зайцева И.П., Тиньков А.А. Микроэлементы и спорт. Персонализированная коррекция элементного статуса спортсменов / под общ. ред. А.В. Скального. Москва : Спорт, 2018. 288 с.
8. Скальный А.В. Референтные значения концентраций химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4, № 1. С. 55–56.
9. Skalny A.V., Skalnaya M.G., Tinkov A.A., et al. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population // *Environ Toxicol Pharmacol*. 2015. Vol. 40, N 1. P. 18–21. doi: 10.1016/j.etap.2015.05.004
10. Луговая Е.А., Степанова Е.М. Региональные показатели содержания макро- и микроэлементов в организме жителей г. Магадана. Магадан : Типография «Экспресс-полиграфия», 2019. 27 с.
11. Похачевский А.Л., Петров А.Б., Анкудинов Н.В. Восстановление физической работоспособности квалифицированных борцов-самбистов в годичном цикле подготовки // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2011. № 11. С. 126–130.
12. Kunstel K. Calcium requirements for the athlete // *Curr Sports Med Rep*. 2005. Vol. 4, N 4. P. 203–206. doi: 10.1097/01.csmr.0000306208.56939.01
13. Троегубова Н.А., Рылова Н.В., Самойлов А.С. Микронутриенты в питании спортсменов // Практическая медицина. 2014. № 1. С. 46–49.
14. Луговая Е.А., Максимов А.Л. Элементный профиль организма жителей Северо-Востока России // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2012. № 6. С. 17–21.
15. Луговая Е.А., Степанова Е.М. Структура элементного дисбаланса в организме жителей г. Магадана // Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСо. 2015. № 2. С. 4–6.
16. Степанова Е.М., Луговая Е.А. Возрастные и гендерные изменения содержания химических элементов в волосах жителей г. Магадана трудоспособного возраста В сб.: Ответственный редактор Н.А. Горячев. Наука Северо-Востока России: фундаментальные и прикладные исследования в Северной Пацифике и Арктике. Материалы докладов юбилейной конференции, посвященной 60-летию СВКНИИ им. Н.А. Шило ДВО РАН; 2020 Март 05–06; Магадан, 2020. С. 201–203.
17. Некрасов В.И., Скальный А.В., Дубовой Р.М. Роль микроэлементов в повышении функциональных резервов организма человека // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2006. № 1. С. 111–113.
18. Гараева О.И. Влияние интенсивной физической нагрузки на микроэлементный статус организма // *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele Vieţii*. 2012. № 3. С. 53–59.

## REFERENCES

1. Alidganova IE, Notova SV, Kiyaeva EV, Miroshnikov SV. Features of changes of macro- and trace-element exchange under the influence of intense physical activity. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011;(15):19–21. (In Russ).
2. Zyryanova EA, Smolensky AV, Grigoryants IA. Features of construction of balanced diet of female athletes (power starvation as reason of infringements of female reproductive system at physical loadings). *Teoriya i Praxtika Fizicheskoy Kultury*. 2007;(8):66–68. (In Russ).
3. Schoeller DA. Integrating therapeutic and complementary nutrition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2007;39(7):1207.
4. Gudkov AB, Demin AV, Dolgoborodova AA, Bykov AV. Russian women's national floorball team in regular season: postural control rating study. *Theory and Practice of Physical Culture*. 2017;(2):8. (In Russ).
5. Notova SV, Kiyaeva EV, Ermakova NV, et al. Elemental and biochemical profile of disabled athletes. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2018;25(6):52–58. (In Russ).
6. McClung JP, Gaffney-Stomberg E, Lee JJ. Female athletes: a population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance. *J Trace Elem Med Biol*. 2014. 28(4):388–392. doi: 10.1016/j.jtemb.2014.06.022
7. Skal'nyj AV, Zajceva IP, Tin'kov AA. *Mikrojelementy i sport. Personalizirovannaya korrekciya jelementnogo statusa sportsmenov*. Skal'nyj AV, editor. Moscow: Sport; 2018. 288 p. (In Russ).
8. Skal'nyj AV. Referentnye znachenija koncentracij himicheskikh jelementov v volosah, poluchennye metodom ISP-AJeS (ANO Centr bioticheskoy mediciny). *Mikrojelementy v medicine*. 2003;4(1) 55–56. (In Russ).
9. Skalny AV, Skal'naya MG, Tinkov AA, et al. Reference values of hair toxic trace elements content in occupationally non-exposed Russian population. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2015;40(1):18–21. (In Russ). doi: 10.1016/j.etap.2015.05.004
10. Lugovaya EA, Stepanova EM. *Regional'nye pokazateli sodержaniya makro- i mikrojelementov v organizme zhitelej g. Magadana*. Magadan: Tipografija "Jekspress-poligrafija"; 2019. 27 p. (In Russ).
11. Pokhachevskiy AL, Petrov AB, Ankudinov NV. Restoration of physical activity of qualified self-defense fighters in annual cycle of training. *Uchenye Zapiski Universiteta Imeni P.F. Lesgafta*. 2011;11:126–130. (In Russ).
12. Kunstel K. Calcium requirements for the athlete. *Curr Sports Med Rep*. 2005;4(4):203–206. doi: 10.1097/01.csmr.0000306208.56939.01
13. Troegubova NA, Rylova NV, Samoylov AS. Micronutrients in the diet of athletes. *Practical medicine*. 2014;(1):46–49. (In Russ).
14. Lugovaya EA, Maximov AL. The element profile observed in Russia's northeast residents. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2012;(6):17–21. (In Russ).
15. Lugovaya EA, Stepanova EM. Structure of elemental disbalance observed in organism residents of magadan town. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2015;(2):4–6. (In Russ).
16. Stepanova EM, Lugovaya EA. Age- and gender-related changes in the hair chemistry of employment aged residents of Magadan. In: Goryachev NA, editor. *Science of the North-East of Russia: fundamental and applied research in Northern Pacifica and the Arctic. Proceedings of the jubilee conference dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of the N.A. Shilo Northeast Complex Scientific Research Institute of the FEB RAS*. 2020 March 05–06; Magadan; 2020. P. 201–203. (In Russ).
17. Nekrasov VI, Skalny AV, Dubovoy RM. The role of trace minerals in increasing human body functional reserves. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2006;(1):111–113. (In Russ).
18. Garaeva OI. The influence of intense physical activity on the trace mineral status of an organism *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele Vieţii*. 2012;(3):53–59. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

**\*Степанова Евгения Михайловна**, научный сотрудник;  
адрес: Россия, 685000, Магадан, пр. К. Маркса, 24;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2223-1358>;  
eLibrary SPIN: 4972-0152;  
e-mail: at-evgenia@mail.ru

**Луговая Елена Александровна**, к.б.н., доцент;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6583-4175>;  
eLibrary SPIN: 5825-7122;  
e-mail: elena\_plant@mail.ru

## AUTHORS INFO

**\*Evgenia M. Stepanova**, research associate;  
address: 24 K. Marksa avenue, 685000, Magadan, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2223-1358>;  
eLibrary SPIN: 4972-0152;  
e-mail: at-evgenia@mail.ru

**Elena A. Lugovaya**, Cand. Sci. (Biol.), associate professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6583-4175>;  
eLibrary SPIN: 5825-7122;  
e-mail: elena\_plant@mail.ru

\*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author