



© Коллектив авторов, 2023

УДК 612.6.015.3-057.87(571.65)

Взаимосвязь биоэлементов в организме человека с психофункциональными показателями при невротоподобных состояниях

Е.А. Луговая, Т.П. Бартош

ФГБУН Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН,
пр. Карла Маркса, д. 24, г. Магадан, 685000, Российская Федерация**Резюме**

Введение. Микроэлементы участвуют в осуществлении функций головного мозга, обеспечении основных нейрохимических процессов в центральной нервной системе и нейропсихологических функций. Особенно остро проблема микроэлементозов проявляется в северных регионах, где акклиматизационный дефицит эссенциальных элементов усиливается комплексным неблагоприятным воздействием геохимических и антропогенных факторов.

Цель исследования: выявление взаимосвязей элементного профиля организма и некоторых психофизиологических характеристик молодых жителей континентальной части Магаданской области как модельной (фоновой) условно здоровой части популяции. **Материал и методы.** Обследованы 55 студентов горного лицея г. Сусумана Магаданской области, средний возраст $17,6 \pm 0,25$ года (25 девушек и 30 юношей). Определено содержание 25 химических элементов (Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn) в волосах методами атомной эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргонной плазмой. Изучение психофизиологических показателей проводили с помощью АПК «НС–ПсихоТест», нервно-психическую адаптацию определяли опросником НПА, уровень тревожности – методикой Спилберга – Ханина.

Результаты. Корреляционный анализ показал, что наибольшее количество связей с показателями психофункционального статуса всех обследованных образует литий, что подтверждает мнение специалистов о роли лития в снижении неврологических проявлений, стресса, депрессий. В группе девушек показатель ситуативной тревожности имел ассоциации с интегральными показателями функционального состояния ЦНС: ФУС ($r = -0,56$), УР ($r = -0,63$), УФВ ($r = -0,61$) при $p < 0,01$. Кластерный анализ представлен четырьмя кластерами, самый крупный из которых включает кальций и показатели скорости нейронных реакций, второй кластер включает показатели алекситимии, калий, натрий, магний и фосфор, в третьем группируются цинк и скорость простой зрительно-моторной реакции, четвертый объединил показатели простой зрительно-моторной реакции и реакции выбора.

Заключение. Выявлен риск формирования невротоподобных состояний, снижения когнитивных способностей и наличие хронического стресса у учащихся на фоне регионального дефицита марганца, йода, кобальта, селена, избытка железа и кремния. Высока вероятность возрастного формирования эндемического гипотиреоза и сахарного диабета в связи с большой частотой встречаемости дефицита тиреоспецифических биоэлементов и нарушений метаболизма хрома и ванадия.

Ключевые слова: макро- и микроэлементы, сенсомоторные реакции, тревожность, студенты, Северо-Восток России.

Для цитирования: Луговая Е.А., Бартош Т.П. Взаимосвязь биоэлементов в организме человека с психофункциональными показателями при невротоподобных состояниях // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 11. С. 58–65. doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-11-58-65

Relationship between Bioelement Concentrations in the Human Body and Psycho-Functional Variables Observed in Neurotic Disorders

Elena A. Lugovaya, Tatiana P. Bartosh

Scientific Research Center "Arktika" Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
24 Karl Marx Street, Magadan, 685000, Russian Federation**Summary**

Introduction: Trace elements are involved in brain functioning, ensuring basic neurochemical processes in the central nervous system and neuropsychological functions. Trace element deficiency is a challenge in northern regions, where acclimatization-related lack of many essential elements is aggravated by adverse health effects of a combination geochemical and anthropogenic factors.

Objective: To establish relationships between the elemental profile of the body and some psychophysiological characteristics of young residents of the continental part of the Magadan Region as a model presumably healthy part of the population.

Materials and methods: Fifty-five lyceum students, including 25 girls and 30 boys (mean age = 17.6 ± 0.25 years), living in the town of Susuman, Magadan Region, were examined. Concentrations of 25 trace elements (Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, and Zn) were measured in 25 samples of the subjects using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Psychophysiological indicators were examined using the NS-Psychotest hard & software unit. The I.N. Gurchik questionnaire was applied to study neuropsychic adaptation (NPA) and anxiety levels were determined using the Spielberger-Hanin test.

Results: The correlation analysis showed the highest number of links between lithium and psycho-functional variables in all students, which is consistent with the opinion of experts on the role of this element in reducing neurological manifestations, stress, and depression. The female group demonstrated relationships between the indicator of situational anxiety and those of the functional state of the central nervous system: functionality level ($r = -0.56$), reaction stability ($r = -0.63$), and functional ability level ($r = -0.61$), $p < 0.01$. Cluster analysis was represented by four clusters, the largest of which included calcium and indicators of velocity of neural responses, the second – indicators of alexithymia, potassium, sodium, magnesium and phosphorus, the third grouped zinc and velocity of a simple visual motor response, and the fourth combined indicators of a simple visual motor response and choice reaction.

Conclusion: The survey revealed a higher risk of neurotic disorders, cognitive impairment, and chronic stress in the adolescents against the background of the region-attributed deficiency in such trace elements as manganese, iodine, cobalt, and selenium and high levels of iron and silicon. Endemic hypothyroidism and diabetes mellitus are likely to develop with age in northerners due to high frequency of thyroid-specific bioelement deficiencies and disorders of chromium and vanadium metabolism.

Keywords: macro- and microelements, sensorimotor responses, anxiety, students, North-East of Russia

For citation: Lugovaya EA, Bartosh TP. Relationship between bioelement concentrations in the human body and psycho-functional variables observed in neurotic disorders. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(11):58–65. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2023-31-11-58-65

Введение. В условиях Крайнего Севера человек подвергается воздействию совокупности экстремальных факторов внешней среды, определяющих специфику его адаптации. Современные данные свидетельствуют, что влияние природно-техногенных факторов биогеохимической среды на организм способно привести к нарушениям минерального обмена, структурно-функциональным дизадаптациям и послужить основой для развития различных форм микроэлементозов. Особенно остро проблема микроэлементозов проявляется в северных регионах, где акклиматизационный дефицит эссенциальных элементов усиливается комплексным неблагоприятным воздействием геохимических и антропогенных факторов. Бедные подзолистые почвы северных регионов и ультрапресная слабоминерализованная питьевая вода способствуют формированию в организме дефицита многих макро- и микроэлементов [1], приводя к риску развития скрытых и выраженных микроэлементозов, в том числе и нарушениям психофункционального статуса организма. Известно участие микроэлементов в осуществлении функций головного мозга, обеспечения основных нейробиохимических процессов в центральной нервной системе и нейропсихологических функций [2]. Например, дефицит марганца у человека может приводить к неврологическим расстройствам и подострому энцефаломиелиту (болезнь Ли), при избыточном накоплении в организме марганца наблюдается ухудшение когнитивных функций, может возникать синдром паркинсонизма. Избыточное накопление в организме железа обычно встречается при повышенной возбудимости ЦНС. Дефицит йода приводит к гипотиреозу, задержке физического и психического развития детей, снижению когнитивных функций. В последние годы наблюдается активизация знаний о роли элементов в тревожных расстройствах [3]. Исследования предоставили ценную информацию об участии основных элементов в психических расстройствах, в частности депрессии и тревоге [4]. Имеются убедительные доказательства того, что дефицит основных элементов может привести к развитию депрессивного и/или анксиогенного поведения, а добавки могут усилить терапевтический эффект антидепрессантов и анксиолитиков [5]. Была продемонстрирована связь между заболеваниями щитовидной железы и психическими расстройствами [6]. Было обнаружено, что уровень магния умеренно снижен в плазме и эритроцитах, а активность Mg^{2+} -АТФазы снижена у детей с СДВГ (синдром дефицита внимания и гиперактивности), а прием препаратов магния при использовании в комплексной терапии СДВГ нормализует гомеостаз магния, усиливает большую и малую моторику, внимание, психическую устойчивость и параметры ЭЭГ, а также снижает тревожность [7]. В иранском исследовании обнаружено, что более высокое потребление Mg с пищей связано с более низкими показателями тревожности, при употреблении Mg вероятность возникновения тревоги была на 39 % ниже. Более того, недостаточное потребление Mg было положительно связано с беспокойством. Обнаружена значительная обратная связь между потреблением Mg с пищей и депрессией. Потребление

Mg с пищей было обратно пропорционально связано с депрессией и тревогой [8]. Данные исследователей подтверждают положительную роль питательных веществ, в том числе микроэлементов (магния и других) в сохранении нормальной функции мозга и психического благополучия, в том числе за счет контроля нейровоспаления, благотворного влияния на стресс, нарушения сна, беспокойство, легкие когнитивные нарушения, а также на нервно-психические расстройства, которые существенно влияют на качество жизни все большего числа людей [9].

Магаданская область, расположенная на Северо-Востоке России, относится к экстремальной природно-климатической зоне проживания человека и в биогеохимическом отношении является одним из дефицитных регионов. Географически и по степени комфортности условий проживания область разделяют на континентальную и приморскую территории. Континентальная территория вследствие интенсивного развития горнодобывающей промышленности и техногенного изменения химического состава биосферы представляет собой промышленную зону. Избыточный или недостаточный уровень содержания макро- и микроэлементов в организме может являться как показателем состояния здоровья, так и характеристикой экологического неблагополучия. Исследования, проведенные учеными Научно-исследовательского центра «Арктика» ДВО РАН [10], показали, что по совокупности медико-биологических характеристик сердечно-сосудистой системы, микроциркуляции, внешнего дыхания, основного обмена, биохимического профиля, микроэлементного статуса организм жителей Крайнего Севера испытывает сильнейшие нагрузки. Особенно дискомфортные (экстремальные) условия проживания населения определяются в континентальной части Магаданской области – г. Сусумане по сравнению с регионом АЗРФ – Чукоткой

Цель исследования: выявление взаимосвязей элементного профиля организма и некоторых психофизиологических характеристик молодых жителей континентальной части Магаданской области как модельной (фоновой) условно здоровой части популяции.

Материалы и методы. Были обследованы 55 студентов горного лицея г. Сусумана Магаданской области, из них 25 девушек (средний возраст $17,6 \pm 0,25$ года) – группа I; 30 юношей (средний возраст $17,6 \pm 0,22$ года) – группа II.

Климат в г. Сусумане суровый, континентальный с сухой зимой и теплым летом. Расстояние от г. Сусумана (континентальная часть Магаданской области) до областного центра Магадан (приморская часть Магаданской области) по трассе составляет 626 км, а по прямой – 385 км, по отношению высоты над уровнем моря территория г. Сусумана относится к низко- и среднегорью. Большинство обследованных студентов г. Сусумана проживали в основном в общежитии лицея, поскольку были приезжими из близлежащих северных поселков.

Определение содержания 25 макро- и микроэлементов (МЭ) в волосах студентов проводили методами атомной эмиссионной спектрометрии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной

аргоновой плазмой на приборах Optima 2000 DV, ELAN 9000 (Perkin Elmer Corp., США), NexION 300D (Perkin Elmer, США) в Центре Биотической медицины (Москва). Параметры описательной статистики для количественных показателей приведены в виде медианы (Me) и интерквартильной широты (25-й; 75-й процентиля). Полученные медианные и интерквартильные значения концентраций химических элементов сравнивали с референтными величинами [11].

Исследование психофизиологических показателей проводили с помощью аппаратно-программного комплекса «НС–ПсихоТест» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново). Определяли среднее значение латентного периода простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) и сложной сенсомоторной реакции выбора (СЗМР). Также регистрировали количество ошибок на дифференцировочный сигнал, точных реакций (коэффициент точности Уиппла), реакций опережения и запаздывания. Наличие невротических и невротоподобных симптомов в эмоционально-аффективной сфере изучали с помощью шкалы нервно-психической адаптации (НПА) по И.Н. Гурвичу. Уровень ситуативной (СТ) и личностной (ЛТ) тревожности определяли с помощью методики Спилберга – Ханина: до 30 баллов регистрировалась низкая тревожность; 31–45 – умеренная тревожность; 46 и более баллов – высокая тревожность. Оценку алекситимии определяли с помощью шкалы TAS-26.

Исследования проводилась с использованием пакета программ Statistica v10. Для определения нормальности выборок генеральной совокупности использовали критерии Шапиро – Уилка. Также использовались методы параметрической и непараметрической статистики: *t*-критерий Стьюдента, *U*-критерий Манна – Уитни, критерий Краскела – Уоллеса. Критический уровень значимости (*p*) в работе принимался равным 0,05.

Результаты. Согласно среднероссийским референтным значениям концентраций химических элементов в волосах юношей и девушек, диапазоны нормального функционального содержания гендерно различаются по Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Se и Zn (табл. 1).

У юношей медианные значения концентраций 15 МЭ из 25 определенных попадают в региональные центильные диапазоны, что можно отнести к общетерриториальным (северным) особенностям элементного статуса населения (табл. 1). По Ca, Fe, K, Mg, Zn установлено превышение значения медианы регионального 75-го центиля, что совпадает с ранее полученными нами данными и, вероятно, обусловлено биогеохимией континентальной территории, частично составом питьевой воды. Превышение медианных значений концентраций 75-го центиля по Hg и Ni, возможно, связано с большей техногенной нагрузкой в этой части Магаданской области. Ниже 25-го регионального центиля оказались медианные концентрации V, Na, I.

У девушек Сусумана относительно центильных величин значение медиан концентраций микроэлементов практически такое же, что у юношей. Территориальной особенностью можно считать повышенный, по сравнению с Магаданом, в волосах

уровень Ca, Fe, Mg, Zn и пониженный V. Гендерным отличием можно считать отсутствие у юношей Сусумана дефицита Se и V. Также гендерной особенностью у молодых жителей г. Сусумана можно считать пониженные (ниже 25-го центиля) значения Al, As, Hg, Mn у девушек и Na у юношей. Выше 75-го центиля оказались показатели медианы концентраций Hg и Ni у юношей.

Избыток железа в волосах молодых жителей и дефицит селена сопоставим с природным состоянием питьевых вод жителей изучаемой территории [1].

Несмотря на то что значения медиан в некоторых случаях были даже выше 75-го центиля или находились в пределах региональных референтных величин [11], при анализе частот встречаемости отклонений относительно среднероссийских показателей мы отметили дефицит Ca, Co, I, Mg, Mn, Na, P, Zn как у юношей, так и у девушек (рис. 1). Суммарная площадь дефицита у юношей составила 31 усл. ед.², у девушек – 35,8 усл. ед.². Относительно среднероссийских референтных значений у юношей г. Сусумана дефицита ванадия не обнаружено, тогда как у девушек он составляет 11 % от числа обследованных (рисунок). Дефицит натрия у юношей составляет 36 %, у девушек – 89 %.

Таблица 1. Содержание химических элементов в волосах молодых жителей г. Сусумана (Me, медиана, мкг/г¹)

Table 1. Trace element concentrations in hair of young residents of the city of Susuman (Me, median, µg/g¹)

Элемент / Trace element	Юноши / Boys	Девушки / Girls
Al	3,54	1,76*
As	0,046	0,023*
B	0,471	0,334
Ca	365,0**	605,0**
Cd	0,015	0,0086*
Co	0,01	0,0069*
Cr	0,525	0,491
Cu	9,35	10,44
Fe	24,86**	34,23**
Hg	0,181**	0,166
I	0,125*	0,109
K	137,0**	27,48
Mg	26,68**	40,18
Mn	0,315	0,25
Na	122,0*	47,32
Ni	0,252**	0,157
P	139,0	145,0
Pb	0,327	0,125
Se	0,439	0,399
Si	19,64	22,66
Sn	0,066	0,176
V	0,04*	0,017*
Zn	192,0**	213,0**

Примечание: ¹ – региональные референтные центильные интервалы [10]; * – медиана ниже значения 25-го центиля, ** – медиана выше значения 75-го центиля.

Notes: ¹ regional reference centile intervals [10]; * the median below the 25th centile, ** the median above the 75th centile.

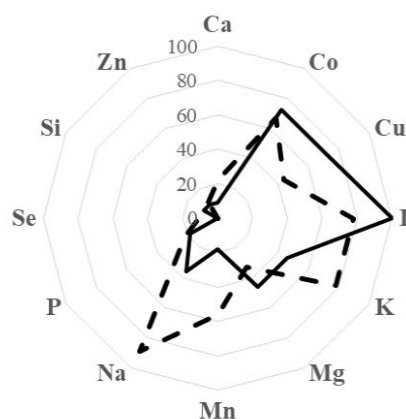


Рис. 1. Частота встречаемости дефицита биоэлементов в организме обследованных*

Fig. 1. Frequency of occurrence of trace element deficiency in the examined*

Примечание: * – в отличие от референсных значений; сплошной контур фигуры – юноши, пунктирный – девушки.

Notes: * compared to the reference values; solid and dotted outlines are for boys and girls, respectively.

У всех юношей континентальной части Магаданской области (в 100 % случаев) обнаружен дефицит йода 1-й степени тяжести, у девушек – 78 % 2-й степени тяжести (более выраженный). Дефицит йода приводит к гипотиреозу, нарушению работы сердечно-сосудистой системы, снижению репродуктивной функции, задержке физического и психического развития детей, снижению когнитивных функций.

При рассмотрении рисунка видно, что площади дефицита элементов у представителей обеих групп (юношей и девушек) сопоставимы и определяют их общий «северный статус» элементной системы организма.

Подвижность нервных процессов является одним из показателей психического развития детей, определяет скорость центральной переработки информации и характер стрессоустойчивости

и изменяющимся условиям среды, влияющий на процесс умственной деятельности [12, 13]. ПЗМР позволяет оценить подвижность нервных процессов, то есть легкость смены возбуждательного нервного процесса на тормозной и наоборот [14].

Оценка функционального состояния организма и ЦНС по времени простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР) многими исследователями рассматривается как индикатор функционального состояния ЦНС. Параметры сенсомоторных реакций отражают зрелость структур, включенность в конкретный процесс сенсомоторной интеграции [15, 16].

В табл. 2 представлены показатели, характеризующие психофизиологический статус по сенсомоторным реакциям обследуемых студентов Магаданской области.

Сопоставление данных по методике простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР) студентов обеих групп с нормативными значениями показало их превышение лимитов нормы (233 мс). У юношей г. Сусумана время реакции ПЗМР и СКО и сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР) достоверно значимо ($p < 0,05$) ниже, чем у сверстниц. Средний показатель среднеквадратичного отклонения (СКО) методик ПЗМР и СЗМР в обеих группах в целом не выходил за рамки референсных значений. При этом, как показывают значения С75, в обеих группах встречались лица, у которых регистрировали высокие значения времени реакции ПЗМР и СЗМР и среднеквадратичного отклонения данных реакций, свидетельствующие об инертности и неуравновешенности нервных процессов обследуемых.

Средние значения интегральных показателей функции ЦНС, характеризующих функциональный уровень системы (ФУС), устойчивость реакции (УР) и уровень функциональных возможностей (УФВ) у обследуемых юношей, находились в пределах функциональной нормы. У девушек регистрировались низкие значения, свидетельствующие об астенизации, снижении работоспособности, функции

Таблица 2. Показатели сенсомоторного реагирования молодых жителей г. Сусумана Магаданской области
Table 2. Indicators of sensorimotor response of young residents of Susuman, Magadan Region

Показатель / Parameter	Группа I, девушки / Group 1, girls (M ± m); Me (C25; C75)	Группа II, юноши / Group II, boys (M ± m); Me (C25; C75)
Простая зрительно-моторная реакция, мс / Simple visual motor response, ms	297 ± 17,2*; 269 (247; 320)	253 ± 8,6; 250 (220; 266)
Среднеквадратичное отклонение ПЗМР, мс / Standard deviation of the simple visual motor response, ms	94 ± 10,2*; 92 (71; 113)	77 ± 7,1; 74 (43; 99)
Запаздывание, количество / Delayed response, n	7,4 ± 2,46; 4 (3,5; 8,5)	5,9 ± 1,30; 5 (0,0; 7)
Опережение, количество / Advanced response, n	7,9 ± 0,99; 8 (4,5; 10,0)	9,2 ± 0,93; 8 (6,0; 12,0)
Коэффициент точности, усл. ед. / Accuracy coefficient, c.u.	0,13 ± 0,02; 0,13 (0,08; 0,18)	0,17 ± 0,02; 0,17 (0,11; 0,21)
Функциональный уровень системы, усл. ед. / Functional level of the system, c.u.	3,8 ± 0,18; 3,9 (3,6; 4,3)	4,0 ± 0,11; 4,1 (3,7; 4,3)
Устойчивость реакции, усл. ед. / Reaction stability, c.u.	1,6 ± 0,2; 1,9 (1,1; 2,3)	1,8 ± 0,12; 1,7 (1,3; 2,2)
Уровень функциональных возможностей, усл. ед. / Functionality level, c.u.	3,1 ± 0,24; 3,4 (2,4; 3,9)	3,3 ± 0,13; 3,4 (2,9; 3,8)
Реакция выбора, мс / Choice reaction, ms	423 ± 25,1*; 394 (345; 479)	364 ± 8,2; 347 (329; 397)
Среднеквадратичное отклонение Реакции выбора, мс / STD CR, ms	98 ± 6,67; 93 (77; 120)	99 ± 4,4; 95 (80; 110)
Ошибки на дифференцировку, количество / Differentiation errors, n	2,9 ± 0,5*; 3,0 (2,0; 4,0)	7,1 ± 1,2; 5,0 (3,1; 7,0)
Запаздывание, количество / Delayed response, n	4,1 ± 0,9*; 3,5 (1,0; 6,3)	5,7 ± 1,35; 3,5 (0,0; 8,5)
Опережение, количество / Advanced response, n	9,8 ± 1,24*; 10,0 (6,0; 12,0)	7,1 ± 0,70; 6,5 (5,0; 10,0)
Коэффициент точности, усл. ед. / Accuracy coefficient, c.u.	0,19 ± 0,02; 0,22 (0,14; 0,24)	0,22 ± 0,01; 0,21 (0,16; 0,25)

Примечание: * – статистически значимые различия между показателями групп I и II при ($p < 0,05$).

Note: * $p < 0.05$ for intergroup comparison.

ЦНС и признаков утомления (табл. 2). Показатель С25 свидетельствует, что и в группе юношей есть лица с низким функциональным состоянием ЦНС.

Сложная сенсомоторная реакция выбора отражает функциональную подвижность церебральных процессов, то есть легкости смены возбуждения на торможение в ЦНС. Количество ошибок, допущенных при выполнении сенсомоторных тестов, связано с концентрацией внимания, которая, в свою очередь, зависит от силы нервных процессов. Анализ числа ошибок на дифференцировочный сигнал при выполнении сложной сенсомоторной реакции показал у юношей в два раза большее ($p < 0,05$) количество ошибочных реакций (табл. 2) по сравнению со сверстниками. Судя по большому количеству ошибок (4–13 ошибочных реакций) в группе сусуманских юношей, можно говорить о слабой концентрации внимания и низком функциональном состоянии ЦНС у 73 % юношей. По данным литературы, в 16–18 лет при выработке дифференцировочного торможения девушки делают меньше ошибок, чем юноши [17].

Как видно из табл. 2, в обеих группах регистрировалось преобладание опережающих ответов над запаздывающими при выполнении тестов СЗМР, что указывает на неуравновешенность нервных процессов возбуждения и торможения в ЦНС. При этом у юношей значительно ($p < 0,05$) больше количество запаздывающих реакций, чем у сверстниц, а девушек – опережающих ($p < 0,05$) (табл. 2).

Коэффициент точности при выполнении обеих методик (табл. 2) был выше референтных значений, особенно у юношей. Это указывает на слабость нервных процессов студентов г. Сусумана. Показано, что студенты с высокой подвижностью и силой нервных процессов являются успешными в учебе, устойчивыми к стрессу и у них достаточно сбалансирована активность симпатической и парасимпатической нервной системы, в отличие от студентов с низкими показателями подвижности и силы нервных процессов. Также успевающие студенты более качественно выполняли простую и сложную сенсомоторные реакции.

Следует отметить, что обследуемые студенты в основном проживали в общежитии. Из устной беседы выяснили, что многие не соблюдали режим сна и отдыха. В определенной степени это способствует ухудшению сенсомоторной интеграции, которая проявляется в более медленных реакциях и низком качестве выполнения сенсомоторных реакций.

Известно, что скорость и точность показателей сенсомоторных реакций зависит от устойчивости внимания, эмоциональных факторов, тревоги, и т. д. [12, 15]. Исследование уровня тревожности студентов показало, что показатель ситуативной и личностной тревожности студентов обеих групп находился в пределах умеренной тревожности. Уровень СТ составил $39 \pm 2,04$ и ЛТ $41,0 \pm 1,84$ балла в группе девушек. У юношей СТ – $36,0 \pm 1,21$ и ЛТ – $36,0 \pm 1,36$ балла. У девушек уровень ЛТ значимо выше ($p \leq 0,05$), чем у юношей. Средний показатель нервно-психической адаптации у девушек составил $34,0 \pm 4,60$ балла и свидетельствовал о невротизации и признаках стресса. У юношей показатель НПА был значительно ($p < 0,05$) ниже – $22,0 \pm 2,4$

балла, но также говорил о нервно-психической неустойчивости. При оценке показателей алекситимии в структуре личности у большинства студентов обеих групп выявлены алекситимические черты: $69,0 \pm 2,4$ балла у юношей и $72,0 \pm 2,7$ у девушек. Уровень алекситимии имел положительные корреляционные ассоциации с ЛТ и НПА ($r = 0,51$, $p < 0,05$), что свидетельствует об эмоциональной нестабильности и сниженной психической устойчивости обследуемых с алекситимическим радикалом.

Установлены ассоциации показателя алекситимии с микроэлементами (плеяда) (рис. 2). Это говорит о важности вклада МЭ в формирование личностных и эмоциональных качеств.

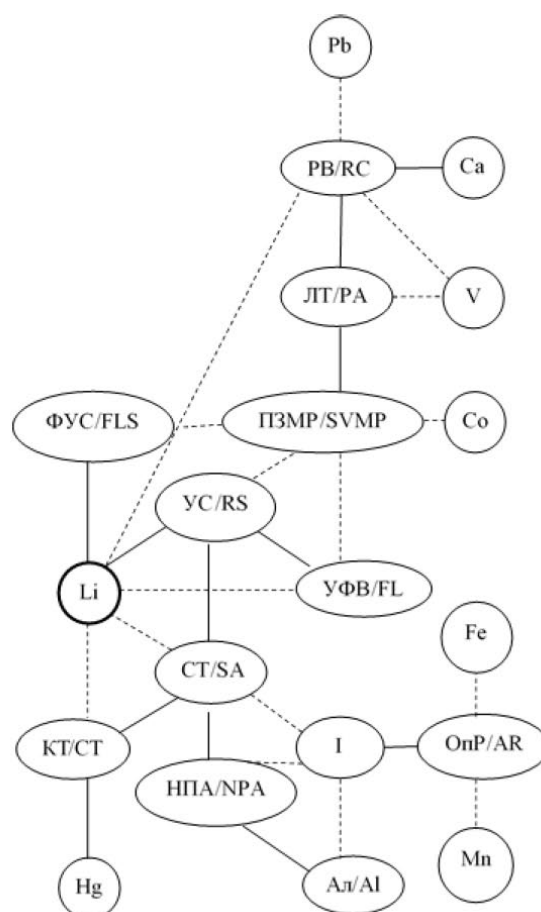


Рис. 2. Корреляционная матрица взаимодействий психофизиологических параметров с содержанием химических элементов в организме обследованных

Fig. 2. The matrix of correlations between psychophysiological parameters and the amounts of chemical elements in the body of the examined

Примечание: PB – реакция выбора, ЛТ – личностная тревожность, ФУС – функциональный уровень системы, ПЗМР – простая зрительно-моторная реакция, УС – устойчивость реакции, УФВ – уровень функциональных возможностей, СТ – ситуативная тревожность, КТ – коэффициент точности, НПА – нервно-психическая адаптация, ОпР – реакция опережения, Ал – алекситимия; сплошная линия – прямая зависимость между величинами параметров или содержанием химических элементов, пунктирная – обратная (чем выше один показатель, тем ниже другой).

Notes: RC – reaction of choice, PA – personal anxiety, FLS – functional level of the system, SVMR – simple visual-motor reaction, RS – reaction stability, FL – functionality level, SA – situational anxiety, CT – accuracy coefficient, NPA – neuro-psychic adaptation, AR – advanced response, Al – alexithymia; the solid and dotted lines show direct and inverse relationships between the values of the parameters and the contents of chemical elements, respectively.

Обсуждение. При анализе корреляционной матрицы в ядре плеяды обнаружен химический элемент литий, который образует сильные достоверные связи с такими показателями, как ФУС, УС, СТ, КТ, и опосредованно через них с УФВ, ПЗМР, НПА и Ал. Узловыми микроэлементами в этих взаимодействиях выступают йод, железо, марганец, кобальт, ванадий, кальций, свинец и ртуть. Тяжелые металлы могут оказывать токсический эффект на нервную систему, приводя к изменению психофункционального статуса [18]. Дефицит йода, установленный в популяции жителей Магаданской области, может приводить к проявлению гипотиреоза, повышенной утомляемости, раздражительности, снижению когнитивных функций.

Ванадий связан с обменом глюкозы, а снижение сахара в крови может напрямую вызывать тревожные состояния и даже панические атаки [19]. При невротоподобных состояниях при отсутствии установленного диагноза сахарный диабет можно успокаивать нервную систему употреблением небольшого количества горького шоколада, который помимо сахара содержит много магния, также благоприятно влияя на нервные процессы. Марганец играет большую роль в нервной передаче, созревании нервных элементов, формировании нейронных связей, и при его недостатке могут значительно ухудшаться процессы памяти, внимания, скорости реакции и т. п.

Особое внимание стоит уделить литию, который активно применяется в мировой медицине в составе препаратов, снижающих общую тревожность, депрессию, биполярные расстройства, суицидальные риски. В организме литий способствует высвобождению магния из клеточных «депо» и тормозит передачу нервного импульса, тем самым снижая возбудимость нервной системы. Сообщалось, что литий эффективен при черепно-мозговой травме, инсульте, болезнях Альцгеймера, Хантингтона и Паркинсона, боковом амиотрофическом склерозе (ALS), травме спинного мозга и других состояниях, он также может обладать значительным потенциалом для лечения нейродегенеративных состояний, улучшает поведенческий и когнитивный дефицит [20–23].

Анализ корреляционных связей уровня тревожности с показателями сенсомоторной реакции показал, что достоверно значимые положительные связи в обеих группах имел только уровень реактивной, ситуативной тревожности у юношей и девушек с количеством запаздывающих реакций ($r = 0,45–0,57$, $p < 0,05$). В группе девушек показатель СТ имел ассоциации с интегральными показателями функционального состояния ЦНС: ФУС ($r = -0,56$), УР ($r = -0,63$), УФВ ($r = -0,61$) при $p < 0,01$. Состояние ситуативной тревожности влияет на работоспособность и когнитивную деятельность студентов, способствует снижению концентрации внимания, оказывает воздействие на функциональное состояние центральной нервной системы, особенно у девушек.

В качестве дополнительного метода оценки полученных данных нами применен кластерный анализ, представленный четырьмя кластерами, самый крупный из которых включает в себя кальций

и показатели скорости нейронных реакций, второй кластер включает в себя показатели алекситимии, калий, натрий, магний и фосфор, в третьем группируются цинк и скорость простой зрительно-моторной реакции, а четвертый объединил показатели простой зрительно-моторной реакции и реакции выбора. Выявленные группировки еще раз подтверждают рабочую гипотезу о тесной взаимосвязи содержания химических элементов в организме и нарушениями, связанными с невротоподобными состояниями.

Заключение. Резюмируя, основным территориальным отличием элементного статуса организма молодых жителей континентальной части Магаданской области следует считать избыток железа и дефицит натрия, более глубокий дефицит, чем в г. Магадане, йода, кобальта, меди, калия, магния и марганца, часто у девушек. Но все дефициты встречаются также и в приморской зоне Магаданской области [24], поэтому их мы относим к северным особенностям. В свою очередь, при дефиците ряда микроэлементов, например марганца и магния, наблюдаются нестабильность эмоционального фона, быстрая утомляемость, тревожность. У обследуемых студентов, особенно девушек, регистрируются, в основном, низкая скорость протекания нервных процессов, слабость и неуравновешенность нервной системы, сниженная функциональная работоспособность ЦНС. У юношей регистрируются слабое развитие дифференцировочного торможения, нервно-психическая неустойчивость, у девушек – нарушения в сфере нервно-психического здоровья, признаки невротизации и астении.

Таким образом, организм жителей континентальной территории Магаданской области вынужден функционировать не только в режиме психоэмоционального стресса из-за климатического и социального напряжения, но также этот стресс может быть активно подкреплён или даже спровоцирован особенностями биогеохимии региона, количеством поступления и качеством усвоения биоэлементов, их адекватного перераспределения в органах и тканях. Жизнедеятельность человека в условиях дефицита большого количества МЭ, особенно с момента зачатия и рождения при постоянном проживании в экстремально дискомфортном районе, может привести не только к хроническому снижению иммунитета, напряжению функциональных систем и развитию патологий, но и к нейропсихическим и когнитивным расстройствам, задержке умственного развития, депрессиям, эмоциональной нестабильности, проблемам с памятью, вниманием, реагированием и т. п., что подтверждается совместными психофизиологическими тестами на одном и том же контингенте жителей континентальной зоны.

Действие негативных природно-климатических и экологических факторов на организм молодых жителей, постоянно проживающих в экстремальных условиях Севера, несут в себе риск нарушений функционального характера со стороны соматических систем организма и психической сферы. В таких неблагоприятных условиях для профилактики дефицитных состояний у обучающихся необходимо большое внимание уделять качеству питания, чтобы оно было максимально подходящим под критерий

«полярного метаболического типа», богато минералами, витаминами и другими нутриентами (например, Омега-3). В организованных коллективах – детских садах, школах, СПО, вузах – это сделать совершенно несложно, в том числе с применением в рационе продуктов местного происхождения и производства, характерных для каждого региона, а на севере являющихся природными корректорами и естественными профилактическими средствами и даже лекарствами от микроэлементозов [25, 26]. Также повышенного внимания заслуживают регулярные мониторинговые исследования здоровья подрастающего поколения на Севере с целью донозологической оценки, профилактики и коррекции показателей здоровья и адаптационных возможностей растущего организма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луговая Е.А., Степанова Е.М. Особенности состава питьевой воды г. Магадана и здоровье населения // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 3. С. 241–246. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-3-241-246
2. Евсеева Г.П., Учакина Р.В., Краснова М.А., Козлов А.В. Микроэлементный статус у детей с психоневрологическими отклонениями в условиях Приамурья // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2009. № 2 (37). С. 7–8.
3. Młyniec K, Gawet M, Doboszevska U, Starowicz G, Nowak G. The role of elements in anxiety. *Vitam Horm*. 2017;103:295–326. doi: 10.1016/bs.vh.2016.09.002
4. Stupski J, Cubata WJ, Górka N, Gałuszko-Węgielnik M, Włusz MS. Role of copper in depression. Relationship with ketamine treatment. *Med Hypotheses*. 2018;119:14–17. doi: 10.1016/j.mehy.2018.07.012
5. Młyniec K, Davies CL, de Agüero Sánchez IG, Pytko K, Budziszewska B, Nowak G. Essential elements in depression and anxiety. Part I. *Pharmacol Rep*. 2014;66(4):534–544. doi: 10.1016/j.pharep.2014.03.001
6. Turan E, Karaaslan O. The relationship between iodine and selenium levels with anxiety and depression in patients with euthyroid nodular goiter. *Oman Med J*. 2020;35(4):e161. doi: 10.5001/omj.2020.84
7. Ноговицина О.Р., Левитина Е.В. Диагностическая значимость исследования магниевого гомеостаза у детей с синдромом дефицита внимания с гиперреактивностью // Клиническая лабораторная диагностика. 2005. № 5. С. 17–19.
8. Anjom-Shoae J, Sadeghi O, Keshteli AH, Afshar H, Esmailzadeh A, Adibi P. The association between dietary intake of magnesium and psychiatric disorders among Iranian adults: A cross-sectional study. *Br J Nutr*. 2018;120(6):693–702. doi: 10.1017/S0007114518001782
9. Muscaritoli M. The impact of nutrients on mental health and well-being: Insights from the literature. *Front Nutr*. 2021;8:656290. doi: 10.3389/fnut.2021.656290
10. Lugovaya EA, Aver'yanova IV. Assessing tension coefficient of body adaptation reserves under chronic exposure to factors existing in polar regions. *Health Risk Analysis*. 2020;(2):101–109. doi: 10.21668/health.risk/2020.2.11.eng
11. Луговая Е.А., Степанова Е.М. Региональные показатели содержания макро- и микроэлементов в организме жителей г. Магадана. Научно-практические рекомендации. 2019. Магадан: «Экспресс-полиграфия», 2019. 27 с.
12. Бартош Т.П., Бартош О.П. Возрастные особенности нейродинамических показателей девочек-подростков аборигенной популяции Северо-Востока России // Психология. Психофизиология. 2019. № 4. С. 71–82. doi: 10.14529/jpps190408
13. Литовченко О.Г., Максимов А.С., Барсегян С.Т. Характеристика функционального состояния центральной нервной системы студентов медицинской специальности, проживающих в условиях Среднего Приобья // Психология. Психофизиология. 2020. Т. 13, № 1. С. 88–94. doi: 10.14529/jpps200110
14. Мальцев В.П. Гендерные особенности психофизиологической адаптации студентов заочного обучения в условиях учебной деятельности // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2018. Т. 7. № 3 (24). С. 345–348.
15. Николаева Е.И., Джалаева А.К. Сенсомоторная интеграция в подростковом возрасте. Обзор литературных источников // Вестник психофизиологии. 2020. № 3. С. 11–25.
16. Gallivan JP, Logan L, Wolpert DM, Flanagan JR. Parallel specification of competing sensorimotor control policies for alternative action options. *Nat Neurosci*. 2016;19(2):320–326. doi: 10.1038/nn.4214
17. Мальцев В.П., Говорухина А.А., Мальков О.А., Конькова К.С. Морфологические и психофизиологические показатели студентов при адаптации к обучению в вузе Северного региона // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22. № 3. С. 62–69. doi: 10.14529/hsm220308
18. Kothapalli CR. Differential impact of heavy metals on neurotoxicity during development and in aging central nervous system. *Curr Opin Toxicol*. 2021;26:33–38. doi: 10.1016/j.cotox.2021.04.003
19. Li X, Zhu Y, Yin J, et al. Inverse association of plasma vanadium concentrations with gestational diabetes mellitus. *Nutrients*. 2022;14(7):1415. doi: 10.3390/nu14071415
20. Terao I, Honyashiki M, Inoue T. Comparative efficacy of lithium and aducanumab for cognitive decline in patients with mild cognitive impairment or Alzheimer's disease: A systematic review and network meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2022;81:101709. doi: 10.1016/j.arr.2022.101709
21. Беккер Р.А., Быков Ю.В. Препараты лития в психиатрии, наркологии и неврологии. Часть II. Биохимическая // Acta biomedica scientifica. 2019. 4(2). С. 82–102. doi: 10.29413/ABS.2019-4.2.13
22. Гоголева И.В., Громова О.А., Торшин И.Ю., Гришина Т.Р., Пронин А.В. Нейробиологическая роль солей лития // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2022. Т. 122. № 11. С. 17–23. doi: 10.17116/jnevro20221221117
23. Пепеляев Е.Г., Громова О.А., Семенов В.А., Янко Е.В. Взаимосвязь развития когнитивных нарушений с уровнем лития в организме у лиц среднего возраста // Клиническая неврология. 2019. № 1. С. 30–34.
24. Аверьянова И.В., Луговая Е.А. Возрастные изменения функциональных резервов организма мужчин-европеоидов уроженцев Севера // Успехи геронтологии. 2021. Т. 34. № 6. С. 814–822. doi: 10.34922/AE.2021.34.6.001
25. Луговая Е.А., Аверьянова И.В. Оптимизация рациона питания детей с ограниченными возможностями здоровья // Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2022. № 67(1). С. 94–100. doi: 10.21508/1027-4065-2022-67-1-94-100
26. Степанова Е.М., Луговая Е.А. Химические элементы в продуктах питания населения севера России // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. Т. 30. № 3. С. 309–318. doi: 10.15372/KhUR2022386

REFERENCES

1. Lugovaya EA, Stepanova EM. Features of the content of drinking water in the city of Magadan and population health. *Gigiena i Sanitaria*. 2016;95(3):241–246. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-3-241-246
2. Evseeva GP, Uchakina RV, Krasnova MA, Kozlov AV. Trace elements status in children with psycho-neurological disorders at the Amur-River region. *Zdorov'e. Meditsinskaya Ekologiya. Nauka*. 2009;(2(37)):7–8. (In Russ.)
3. Młyniec K, Gawet M, Doboszevska U, Starowicz G, Nowak G. The role of elements in anxiety. *Vitam Horm*. 2017;103:295–326. doi: 10.1016/bs.vh.2016.09.002
4. Stupski J, Cubata WJ, Górka N, Gałuszko-Węgielnik M, Włusz MS. Role of copper in depression. Relationship with ketamine treatment. *Med Hypotheses*. 2018;119:14–17. doi: 10.1016/j.mehy.2018.07.012
5. Młyniec K, Davies CL, de Agüero Sánchez IG, Pytko K, Budziszewska B, Nowak G. Essential elements in depression and anxiety. Part I. *Pharmacol Rep*. 2014;66(4):534–544. doi: 10.1016/j.pharep.2014.03.001

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-11-58-65>
Original Research Article

6. Turan E, Karaaslan O. The relationship between iodine and selenium levels with anxiety and depression in patients with euthyroid nodular goiter. *Oman Med J*. 2020;35(4):e161. doi: 10.5001/omj.2020.84
7. Nogovitsina OR, Levitina EV. Diagnostic value of examination of the magnesium homeostasis in children with attention deficit syndrome with hyperactivity. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*. 2005;(5):17-19. (In Russ.)
8. Anjom-Shoae J, Sadeghi O, Keshteli AH, Afshar H, Esmailzadeh A, Adibi P. The association between dietary intake of magnesium and psychiatric disorders among Iranian adults: A cross-sectional study. *Br J Nutr*. 2018;120(6):693-702. doi: 10.1017/S0007114518001782
9. Muscaritoli M. The impact of nutrients on mental health and well-being: Insights from the literature. *Front Nutr*. 2021;8:656290. doi: 10.3389/fnut.2021.656290
10. Lugovaya EA, Aver'yanova IV. Assessing tension coefficient of body adaptation reserves under chronic exposure to factors existing in polar regions. *Health Risk Analysis*. 2020;(2):101-109. doi: 10.21668/health.risk/2020.2.11.eng
11. Lugovaya EA, Stepanova EM. [Region-Related Variables of Macro-and Microelement Picture in Residents of Magadan City: Scientific and Practical Recommendations.] Magadan: Ekspress-Poligraphiya Publ.; 2019. (In Russ.)
12. Bartosh TP, Bartosh OP. Age-related features of neurodynamic indicators in native adolescent females of Russia's Northeast. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya*. 2019;12(4):71-82. (In Russ.) doi: 10.14529/jpps190408
13. Litovchenko OG, Maximova AS, Barsegyan ST. The functional status of the central nervous system in medical students in the middle Ob region. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya*. 2020;13(1):88-94. (In Russ.) doi: 10.14529/jpps200110
14. Maltsev VP. Gender peculiarities of psychophysiological adaptation of students of correspondent education in conditions of educational activity. *Azimuth Nauchnykh Issledovaniy: Pedagogika i Psikhologiya*. 2018;7(3(24)):345-348. (In Russ.)
15. Nikolaeva EI, Djalaeva AK. Sensorimotor integration in adolescence. Review of literature sources. *Vestnik Psikhofiziologii*. 2020;(3):11-25. (In Russ.)
16. Gallivan JP, Logan L, Wolpert DM, Flanagan JR. Parallel specification of competing sensorimotor control policies for alternative action options. *Nat Neurosci*. 2016;19(2):320-326. doi: 10.1038/nn.4214
17. Maltsev VP, Govorukhina AA, Malkov OA, Konkova KS. Morphological and psychophysiological indicators of adaptation to university among students of the Northern region. *Chelovek. Sport. Meditsina*. 2022;22(3):62-69. (In Russ.) doi: 10.14529/hsm220308
18. Kothapalli CR. Differential impact of heavy metals on neurotoxicity during development and in aging central nervous system. *Curr Opin Toxicol*. 2021;26:33-38. doi: 10.1016/j.cotox.2021.04.003
19. Li X, Zhu Y, Yin J, et al. Inverse association of plasma vanadium concentrations with gestational diabetes mellitus. *Nutrients*. 2022;14(7):1415. doi: 10.3390/nu14071415
20. Terao I, Honyashiki M, Inoue T. Comparative efficacy of lithium and aducanumab for cognitive decline in patients with mild cognitive impairment or Alzheimer's disease: A systematic review and network meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2022;81:101709. doi: 10.1016/j.arr.2022.101709
21. Bekker RA, Bykov YuV. Lithium preparations in psychiatry, addiction medicine and neurology. Part II. Biochemical mechanisms of its action. *Acta Biomedica Scientifica*. 2019;4(2):80-100. doi: 10.29413/ABS.2019-4.2.13
22. Gogoleva IV, Gromova OA, Torshin IY, Grishina TR, Pronin AV. A systematic analysis of neurobiological roles of lithium. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2022;122(11):17-23. (In Russ.) doi: 10.17116/jnevro20221221117
23. Pepelyaev EG, Gromova OA, Semenov VA, Yanko EV. [Interrelation of development of cognitive disturbances with lithium level in an organism at middle-aged persons.] *Klinicheskaya Nevrologiya*. 2019;(1):30-33. (In Russ.)
24. Averyanova IV, Lugovaya YeA. Age-related readjustments of Caucasian men's functional reserves in the North. *Uspekhi Gerontologii*. 2021;34(6):814-822. (In Russ.) doi: 10.34922/AE.2021.34.6.001
25. Lugovaya EA, Averyanova IV. Optimizing the diet of children with disabilities. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii*. 2022;67(1):94-100. (In Russ.) doi: 10.21508/1027-4065-2022-67-1-94-100
26. Stepanova EM, Lugovaya EA. Chemical elements in the food items of population in the North of Russia. *Chemistry for Sustainable Development*. 2022;30(3):301-310. doi: 10.15372/CSD2022386

Сведения об авторах:

✉ **Луговая** Елена Александровна – к.б.н., доцент, директор; e-mail: elena_plant@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6583-4175>.

Бартош Татьяна Петровна – к.б.н., доцент, ведущий научный сотрудник; e-mail: tabart@rambler.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4993-5969>.

Информация о вкладе авторов: разработка дизайна исследования: *Луговая Е.А.*; анализ данных, обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи: *Луговая Е.А., Бартош Т.П.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и в соответствии с ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в РФ» от 21.11.2011 № 323, ФЗ от 27.07.2006 № 152 «О персональных данных» (протокол заседания комиссии по биоэтике ФГБУН «Институт биологических проблем Севера» ДВО РАН № 001/019 от 29.03.2019). От всех участников оформлено письменное информированное согласие.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 22.03.23 / Принята к публикации: 10.11.23 / Опубликована: 30.11.23

Author information:

✉ **Elena A. Lugovaya**, Cand. Sci. (Biol.), docent; Director; e-mail: elena_plant@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6583-4175>.

Tatiana P. Bartosh, Cand. Sci. (Biol.), docent; Leading Researcher; e-mail: tabart@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4993-5969>.

Author contributions: study conception and design: *Lugovaya E.A.*; data analysis, literature review, draft manuscript preparation: *Lugovaya E.A., Bartosh T.P.* Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki, Federal Law No. 323 "On the Fundamentals of Protecting Health of Citizens in the Russian Federation" of November 21, 2011, and Federal Law No. 152 "On Personal Data" of July 27, 2006, and approved by the Bioethics Committee of the Institute of Biological Problems of the North (protocol No. 001/019 of March 29, 2019). Written informed consent was obtained from the participants.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: March 22, 2023 / Accepted: November 10, 2023 / Published: November 30, 2023