

УДК [616.12+616.43+616.891.6]:577.1

СОЧЕТАННОЕ ВЛИЯНИЕ ГИПО- И ГИПЕРМИКРОЭЛЕМЕНТОЗОВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ, ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМ И УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ ПОДРОСТКОВ

© 2017 г. Л. И. Губарева, *А. Г. Соловьев, Г. В. Бичева, Л. С. Ермолова

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь
Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

Выявлено сочетанное влияние гипо- (Zn, Fe) и гипер- (Cd, Pb) микроэлементозов на функциональное состояние сердечно-сосудистой и эндокринной систем и уровень тревожности у подростков 13 лет, проживающих в химически загрязненном районе Ставропольского края. Уровень микроэлементов (Cd, Pb, Fe, Zn, Cu) в волосах и ногтях определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, содержание кортизола в слюне – иммуноферментным методом; о состоянии сердечно-сосудистой системы и ее регуляторных механизмов судили по показателям вариационной пульсометрии, для оценки уровня тревожности подростков использовали тестовую методику «Шкала тревожности». Анализ микроэлементного состава волос и ногтей у подростков, проживающих в условиях химического загрязнения окружающей среды подпороговыми дозами Cd и Pb, показал наличие гипо- (Zn, Fe) и гипермикроэлементозов (Cd, Pb). При этом обнаружено увеличение уровня кортизола в слюне, более выраженное у мальчиков, повышение частоты сердечных сокращений, амплитуды моды, напряжение центральных механизмов регуляции работы сердца. Установлено изменение уровня тревожности. Обосновано, что определение микроэлементного состава волос и ногтей может выступать в качестве маркера загрязнения окружающей среды, а комплекс негативных изменений, включающий нарушение баланса микроэлементов в волосах и ногтях, изменения в функционировании ведущих адаптационных систем – гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной, сердечно-сосудистой, изменение уровня тревожности, может быть использован в качестве маркера дизадаптации и предиктора психосоматического неблагополучия.

Ключевые слова: гипо- и гипермикроэлементозы, волосы и ногти, кортизол, психосоматическое здоровье подростков

COMBINED INFLUENCE OF HYPO AND HYPERMICROELEMENTOSIS ON FUNCTIONING OF CARDIOVASCULAR AND ENDOCRINE SYSTEMS AND ANXIETY LEVEL OF ADOLESCENTS

L. Gubareva, *A. Soloviev, G. Bicheva, L. Ermolova

North-Caucasus Federal University, Stavropol

*Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

Purpose of investigation: to reveal the combined influence of hypo (Zn, Fe) and hyper (Cd, Pb) microelementosis on functional status of the cardiovascular, endocrine systems and anxiety level of adolescents (13 years of age) living in a chemically contaminated area in Stavropol region. The level of microelements (Cd, Pb, Fe, Zn, Cu) in hair and nails was determined by atomic absorption spectrophotometry method, cortisol in saliva - by ELISA method. The state of the cardiovascular system and its regulatory mechanisms was determined by indicators of variational pulsometry. To assess anxiety level of adolescents test method "Anxiety scale" was used. The analysis of microelement composition of hair and nails in adolescents, living in conditions of chemical environmental pollution with Cd and Pb subliminal doses, revealed the presence of hypo- (Zn, Fe) and hyper- (Cd, Pb) microelementosis. At the same time, increased levels of cortisol in saliva more evident in boys, increased heart rate and mode amplitude, pressure of the central mechanisms of the heart function regulation have been discovered. Change of anxiety level was stated. It has been proved that the determination of the microelement composition of hair and nails can serve as a marker of environmental contamination and complex negative changes, including the imbalance of microelements in hair and nails, functional changes in leading adaptive systems - the hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis, cardio-vascular, changes of anxiety level can be used as a marker of dysadaptation and predictor of psychosomatic problems.

Keywords: hypo- and hypermicroelementosis, hair and nails, cortisol (C), anxiety, adolescents

Библиографическая ссылка:

Губарева Л. И., Соловьев А. Г., Бичева Г. В., Ермолова Л. С. Сочетанное влияние гипо- и гипермикроэлементозов на функционирование сердечно-сосудистой, эндокринной систем и уровень тревожности подростков // Экология человека. 2017. № 8. С. 29–36.
Gubareva L., Soloviev A., Bicheva G., Ermolova L. Combined Influence of Hypo and Hypermicroelementosis on Functioning of Cardiovascular and Endocrine Systems and Anxiety Level of Adolescents. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 8, pp. 29-36.

Химический гомеостаз является необходимым компонентом сохранения здоровья, а избыточный или недостаточный уровень содержания микроэлементов в организме рассматривается в качестве фактора риска развития патологических изменений, в том числе психических заболеваний [13, 17, 27], а

также экологического неблагополучия окружающей среды [1, 21]. В качестве маркеров экологического неблагополучия и нарушения химического гомеостаза могут выступать волосы и ногти, поскольку они наряду с другими биосубстратами (кровь, моча и др.) аккумулируют микроэлементы (МЭ), поступающие в

организм с питьевой водой, пищей, воздухом [2, 8].

Особенно актуальна проблема гипо- и гипермикроэлементозов детского организма, отличающегося от взрослого незавершенностью процессов биологического и психического развития [3, 10].

Цель исследования — выявить сочетанное влияние гипо- (Zn, Fe) и гипер- (Cd, Pb) микроэлементозов на функциональное состояние сердечно-сосудистой (ССС) и эндокринной систем и уровень тревожности у подростков 13 лет, проживающих в химически загрязненном районе Ставропольского края.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1) изучить сочетанное влияние гипо- и гипермикроэлементозов на функциональную зрелость и функциональное состояние ведущих систем адаптации к факторам среды — гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной и ССС у подростков 13 лет;

2) выявить влияние гипо- (Zn, Fe) и гипер- (Cd, Pb) микроэлементозов на уровень тревожности подростков;

3) провести корреляционный анализ для выявления взаимозависимости показателей уровня тревожности, функционального состояния ССС, уровня кортизола и уровня тяжелых металлов (Cd, Pb) и эссенциальных МЭ (Fe, Zn, Cu).

Методы

В условиях естественного эксперимента изучено влияние химического загрязнения окружающей среды на организм подростков. На основании данных Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края [12] были выбраны химически наиболее загрязненные районы (концентрация вредных химических веществ, в том числе Cd и Pb, в воздухе являлась подпороговой — превышала ПДК в 2–6 раз) г. Невинномысска и относительно чистый (концентрация вредных химических веществ не превышала ПДК) Ленинский район г. Ставрополя, который условно считали экологически благополучным. Проведено поперечное обследование 284 подростков 13 лет, с рождения проживающих на данных территориях. Были сформированы две группы школьников: I контрольная — 141 учащийся средней общеобразовательной школы (СОШ) г. Ставрополя (67 мальчиков и 74 девочки); II экспериментальная — 143 учащихся СОШ № 8 и 11 г. Невинномысска (74 мальчика и 69 девочек). Все дети относились к первой и второй группам здоровья. По социальным условиям подростки обеих групп существенно не различались. Исследование проходило в соответствии с требованиями биомедицинской этики и Хельсинкской декларации о правах человека.

Уровень МЭ (Cd, Pb, Fe, Zn, Cu) в волосах и ногтях определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе Perkin-Elmer 2280 (США). Подготовку проб и сухое озоление волос и ногтей проводили в соответствии с требованиями ГОСТа 26929-86 [5]. Важную роль в адаптации к

факторам внешней среды играют эндокринная система и ССС, которые участвуют в процессах реализации генетической программы и в значительной мере определяют развитие и становление других систем растущего организма [6, 19]. Показателем функционального состояния гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной системы (ГТАКС) являлось содержание кортизола (К) в слюне, определяемое иммуноферментным методом с использованием набора реактивов фирмы YSR (США) на приборе «Пикон». Забор слюны для исследования производился с 8.00 до 9.00 час, причем у девочек — на 12–15-й день овариально-менструального цикла, когда концентрация половых стероидов является максимальной. О состоянии ССС и ее регуляторных механизмов судили по показателям вариационной пульсометрии, которые определяли с помощью компьютерного прибора «Мир-05». Для оценки уровня тревожности подростков, проживающих в химически загрязненном районе, использовали тестовую методику «Шкала тревожности», разработанную на основе «Шкалы социально-ситуативной тревоги» Кондаша [15]. Исследования проводили с учетом циркадианного (с 8.00 до 13.00 час), циркасапталного (вторник, среда) и сезонного (с 15 сентября до 01 ноября) биоритмов. Полученные данные подвергались статистической обработке в программе Microsoft Excel-2006 (с использованием параметрического t-критерия Стьюдента и корреляционного анализа по Пирсону).

Результаты

Согласно полученным данным (табл. 1), химическое загрязнение окружающей среды приводило к статистически значимому повышению накопления тяжелых металлов (Cd, Pb) в волосах ($p < 0,05–0,001$) и менее выраженному — в ногтях у подростков, проживающих на экологически неблагоприятной территории. Так, концентрация Cd в волосах школьников группы II в

Таблица 1
Содержание металлов в волосах 13-летних подростков, проживающих в разных экологических условиях

Металл	Группа	Мальчики	Девочки
Cd, мг/кг	I	0,28±0,05	0,40±0,06
	II	0,75±0,08***	0,62±0,09*
Pb, мг/кг	I	0,022±0,002	0,016±0,003
	II	0,032±0,002***	0,031±0,003***
Fe, мг/кг	I	0,51±0,07	0,88±0,18
	II	0,24±0,04**	0,18±0,03**
Zn, мг/кг	I	2,64±0,21	2,75±0,35
	II	1,17±0,13***	0,87±0,08***#
Cu, мг/кг	I	0,018±0,003	0,040±0,005#
	II	0,030±0,006	0,036±0,003

Примечания: I — контрольная группа; II — экспериментальная группа; значимость различий средних величин контрольной и экспериментальной групп: * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$, *** — $p < 0,001$; # — значимость межполовых различий.

1,9 раза превышала таковой показатель в группе I; в ногтях — в 1,1 раза. Причем содержание Cd у мальчиков группы I было выше, чем у девочек, как в волосах, так и в ногтях, что указывает на более высокую степень кумуляции Cd в мужском организме.

Уровень Pb и в волосах, и в ногтях у обследованных группы II был значимо ($p < 0,05-0,001$) выше (в 1,5 раза), чем у подростков контрольной группы. Значимых половых различий концентрации Pb в производных эпидермиса не обнаружили. Избыточное накопление Cd и Pb, выявленное нами в организме подростков, проживающих в условиях химического загрязнения окружающей среды, привело к нарушению концентрации эссенциальных МЭ в производных эпидермиса.

У подростков группы II наблюдали статистически значимое ($p = 0,013$) снижение (в 3,4 раза) уровня Fe в волосах по сравнению с контролем. При этом у девочек концентрация элемента была в 4,9 раза, у мальчиков — в 2,1 раза ниже по сравнению с контролем. Можно предположить, что данный факт обусловлен гормональными изменениями, связанными с половым созреванием и появлением менструации у девочек 13 лет, что приводит к большим потерям Fe. Уровень Fe в ногтях подростков группы II также оказался ниже по сравнению с контролем, однако различия менее выражены; в ногтях содержание Fe у девочек также меньше, чем у мальчиков ($p = 0,05$). Таким образом, снижение уровня Fe в волосах и ногтях у подростков из химически загрязненного района свидетельствует о дефиците этого эссенциального МЭ в организме детей, что может в дальнейшем явиться причиной развития железодефицитной анемии и других функциональных нарушений.

Анализ содержания Zn в волосах и ногтях у подростков группы II выявил статистически значимое ($p < 0,001$) его снижение по сравнению с контролем, причем в волосах уровень Zn был снижен в 2,3 раза у мальчиков и в 3,1 раза у девочек, в ногтях — в 2,6 и в 2,4 раза соответственно.

Уровень Си в производных эпидермиса у подростков группы II был в 1,1 раза выше, чем у подростков группы I. У девочек концентрация МЭ в волосах была выше, чем у мальчиков, причем в группе I в 2,2 раза ($p = 0,013$), в группе II — в 1,2 раза. Уровень Си в ногтях у подростков оказался выше у мальчиков, чем у девочек, в 1,4 раза в группе I и в 1,3 раза — в группе II.

Таким образом, на фоне повышенного поступления в организм из окружающей среды соединений Cd и Pb наблюдали снижение процесса усвоения эссенциальных МЭ — Zn, Fe, а также нарушение обмена Си, что свидетельствует о нарушении гомеостаза.

Нами установлено, что повышенное содержание Cd и Pb и пониженное содержание Fe и Zn приводило к напряжению функции ГПАКС, судя по уровню периферического гормона — К в слюне (рис. 1). Так, уровень К у мальчиков группы I составлял $(10,11 \pm 0,67)$ нмоль/л, у девочек — $(10,52 \pm 0,82)$ нмоль/л,

что указывает на активное функционирование коры надпочечников у 13-летних подростков.

У подростков группы II отмечали статистически значимое ($p < 0,001$) повышение уровня К в слюне (см. рис. 1) по сравнению с таковым в группе I. Причем концентрация К у мальчиков в группе II была в 1,71 раза, а у девочек — в 1,49 раза выше, чем в группе I, что указывает на большую реактивность коры надпочечников на хроническое воздействие химических факторов среды у мальчиков по сравнению с девочками.

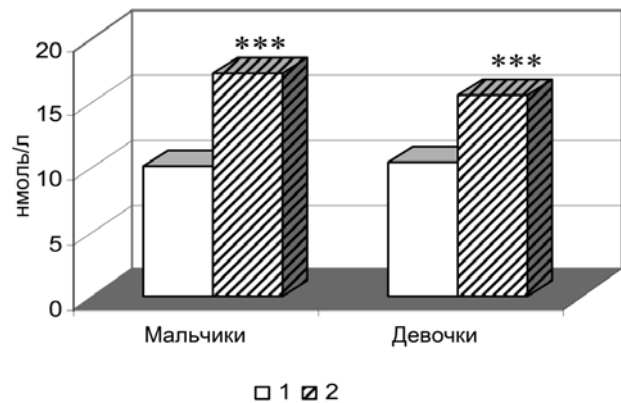


Рис. 1. Уровень кортизола в слюне у подростков 13 лет, проживающих в разных экологических условиях

Примечания: *** — $p < 0,001$; 1 — «чистый» район, 2 — химически загрязненный район.

Согласно полученным данным, частота сердечных сокращений (ЧСС) у мальчиков и девочек 13 лет, проживающих в условиях экологического благополучия, существенно не отличалась и составляла $(84,9 \pm 1,3)$ и $(83,7 \pm 2,0)$ уд./мин соответственно. Химическое загрязнение окружающей среды приводило к повышению ЧСС у девочек: $(88,7 \pm 2,8)$ и $(92,0 \pm 2,6)$ уд./мин соответственно, $p = 0,057$.

Более высокие, чем в группе I, показатели ЧСС у подростков группы II сочетались с увеличением амплитуды моды (АМо), $p = 0,053$ (рис. 2). Данный факт указывает на напряжение центральных механизмов управления ритмом работы сердца, и в первую очередь симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС).

Полученные данные согласуются с более низкими показателями среднеквадратичного отклонения (СКО) и вариационного размаха (ΔX) (см. рис. 2), указывающими на снижение функциональной активности автономного контура регуляции ритма сердца и парасимпатического отдела ВНС. Так, у подростков группы I величина СКО составляла $(56,8 \pm 1,6)$ мс у мальчиков и $(64,5 \pm 2,2)$ мс у девочек, а в группе II — $(52,1 \pm 1,6)$ мс, $p = 0,05$, и $(57,4 \pm 2,7)$ мс, $p = 0,052$, соответственно. Показатели ΔX сниженные обнаруживали только у мальчиков группы II по сравнению с группой I ($p = 0,051$), что указывает на более высокую экосенситивность мужского организма в период полового созревания.

В условиях химического загрязнения окружающей

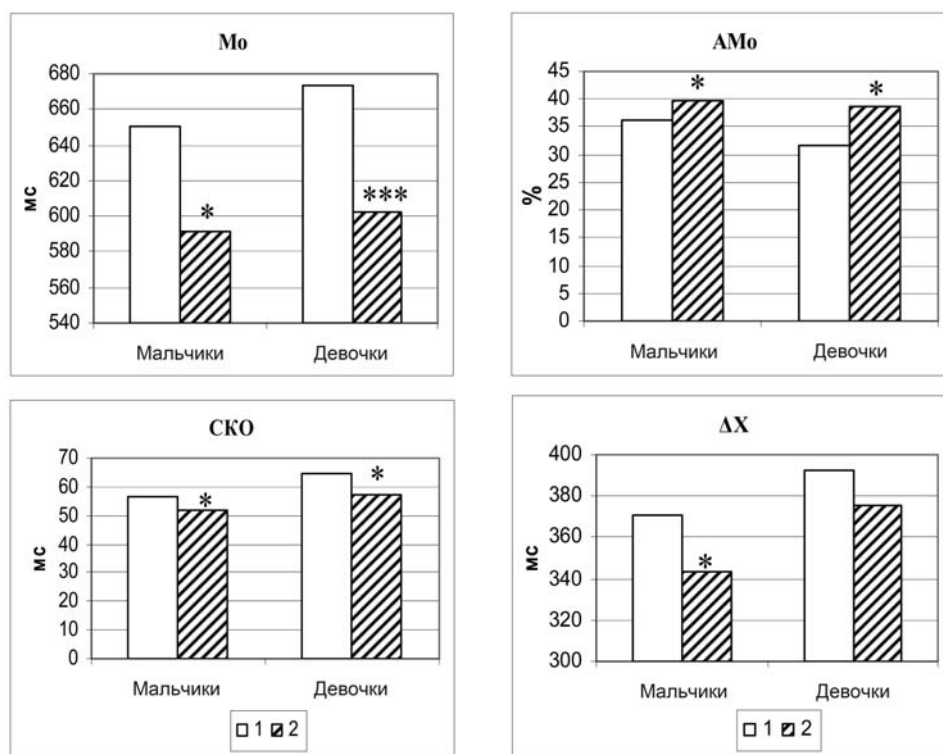


Рис. 2. Показатели кардиоинтервалографии подростков 13 лет, проживающих в разных экологических условиях
 Примечания: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$; 1 – «чистый» район, 2 – химически загрязненный район.

среды у подростков обоих полов отмечали статистически значимое ($p < 0,001$) уменьшение моды (Mo), что указывает на преобладание центральных механизмов регуляции хронотропной функции сердца, в частности симпатической регуляции, над гуморальной. И это вполне объяснимо, учитывая особенности становления эндокринной системы и необходимость участия гормонов в ростовых процессах в период «второго скачка роста» (пубертатный скачок).

Проживание на химически загрязненной территории негативно отражается не только на соматическом, но и на психическом здоровье подростков. Определенный уровень тревожности – естественная и обязательная особенность активной деятельности личности. У каждого человека существует свой оптимальный или желательный уровень тревожности – так называемая полезная тревожность. Оценка человеком своего состояния в этом отношении является для него существенным компонентом самоконтроля и самовоспитания [11].

Согласно полученным данным (табл. 2), у подростков группы I показатели уровня тревожности у девочек были выше, чем у мальчиков: ($41,4 \pm 2,4$) и ($32,6 \pm 2,0$) балла соответственно, $p = 0,012$. Следует также отметить, что девочки контрольной группы обладали более высокими показателями межличностной – ($14,1 \pm 0,8$) балла и самооценочной – ($12,8 \pm 0,9$) балла тревожности по сравнению с мальчиками – ($12,0 \pm 1,0$) и ($9,9 \pm 0,6$) балла соответственно, что указывает на высокую значимость для девочек

данной возрастной группы межличностного общения и оценки личностных качеств.

Таблица 2

Показатели уровня тревожности подростков 13 лет, проживающих в условиях химического загрязнения окружающей среды

Вид тревожности, район	Мальчики	Девочки	p_2
1. Общая «Чистый» (n=141)	$32,6 \pm 2,0$	$41,4 \pm 2,4$	0,012
Химически загрязненный (n=143)	$41,9 \pm 2,1$ p_1 0,015	$39,1 \pm 2,2$ 0,503	0,11
2. Школьная «Чистый» (n=141)	$13,1 \pm 0,8$	$14,2 \pm 0,8$	0,112
Химически загрязненный (n=143)	$15,8 \pm 0,9$ p_1 0,05	$14,3 \pm 0,9$ 0,5	0,115
3. Самооценочная «Чистый» (n=141)	$9,9 \pm 0,6$	$12,8 \pm 0,9$	0,056
Химически загрязненный (n=143)	$12,4 \pm 0,8$ p_1 0,055	$12,0 \pm 0,8$ 0,5	0,5
4. Межличностная «Чистый» (n=141)	$12,0 \pm 1,0$	$14,1 \pm 0,8$	0,05
Химически загрязненный (n=143)	$13,3 \pm 0,8$ p_1 0,115	$12,1 \pm 0,5$ 0,052	0,156

Примечание. p_1 – значимость различий средних величин контрольной и экспериментальной групп; p_2 – значимость межполовых различий.

У подростков группы II статистически значимых половых различий по уровню тревожности не было выявлено (см. табл. 2). Это указывает, с одной сторо-

ны, на более высокую экосенситивность центральной нервной системы (ЦНС) мальчиков по сравнению с девочками, а с другой — на относительное нивелирование половых различий по уровню тревожности.

У мальчиков группы II уровень общей тревожности был выше по сравнению с уровнем контроля ($p = 0,015$); у них обнаружено значимое превышение показателей школьной и самооценочной тревожности (см. табл. 2), что косвенно может свидетельствовать о снижении функциональных возможностей ЦНС. У девочек группы II по сравнению с контролем был существенно снижен уровень межличностной тревожности ($p = 0,052$).

Согласно критериям оценки уровня тревожности среди подростков, проживающих в химически загрязненном районе, у 3,7 % был выявлен очень высокий уровень школьной тревожности, в то время как в контрольной группе такие учащиеся отсутствовали, причем число девочек с высоким уровнем школьной тревожности оказалось в 2,9 раза больше, чем мальчиков. Среди мальчиков группы II чаще, чем среди девочек, встречались подростки с несколько повышенным и высоким уровнем тревожности (30,2 и 7,5 %, в контрольной группе — 5,7 и 6,2 % соответственно). Меньшее беспокойство у мальчиков из химически загрязненного района вызывает осознание «собственного Я»: 83,0 % имели нормальный уровень самооценочной тревожности, тогда как среди девочек — всего 40,7 %. У мальчиков группы II большую тревогу вызывали межличностные отношения: 15,1 % имели повышенный, а 7,5 % — высокий уровень межличностной тревожности, в то время как среди девочек таковые показатели составили только 7,4 и 1,9 % соответственно.

Количество учащихся, характеризующихся, условно говоря, «чрезмерным спокойствием», в группе II было больше, чем в группе I, особенно среди девочек: у 50,0 % обследуемых девочек группы II обнаружено «чрезмерное спокойствие» по отношению к собственному Я, а количество таковых мальчиков только 1,9 %; в отношении обучения в школе соотношение мальчиков и девочек составило 7,4 % к 1,9 %, в сфере межличностных отношений — 16,7 % к 1,9 % соответственно.

В целом оценка степени выраженности тревожности в контрольной и экспериментальной группах показала, что среди подростков 13 лет, проживающих в химически загрязненном районе, 18,8 % имеют повышенный и высокий уровень тревожности, в то время как в экологически благоприятном районе таких подростков 6,0 %.

Корреляционный анализ выявил тесную положительную связь уровня К в слюне у подростков, проживающих в условиях химического загрязнения окружающей среды, с концентрацией Cd и Pb в волосах ($r = 0,71$ и $r = 0,73$) и ногтях ($r = 0,69$ и $r = 0,71$ соответственно); с содержанием эссенциальных МЭ выявлены отрицательные связи. Тесная корреляционная связь установлена между уровнем К и

содержанием Zn в волосах ($r = -0,70$), выраженная — между уровнем К и содержанием Cu ($r = -0,55$). Теснота корреляционных связей между уровнем К и содержанием Zn и Cu в ногтях несколько ниже ($r = -0,61$ и $r = -0,51$ соответственно).

Величина ЧСС положительно коррелировала с концентрацией Cd и Pb как в волосах, так и в ногтях, причем характер связи — от заметной до тесной ($r = 0,42 \div 0,71$). Корреляционные связи ЧСС и содержания Cd и Pb в волосах были более тесные, чем в ногтях. По другим показателям вариационной пульсометрии между концентрациями Cd и Pb в волосах выявлены заметные положительные связи с АМо, индексом напряжения и отрицательные — с Мо ($r = 0,31; 0,31; -0,30$ соответственно). Между содержанием эссенциальных МЭ в волосах и ЧСС выявлена слабая отрицательная корреляция ($r = -0,21$). По другим показателям вариационной пульсометрии и содержанию эссенциальных элементов заметных корреляционных связей не выявлено.

Уровень общей тревожности обнаруживал выраженные и тесные положительные связи с уровнем Cd и Pb в волосах и ногтях ($r = 0,56 \div 0,76$) и выраженные отрицательные — с содержанием Fe и Zn ($r = -0,56 \div 0,67$). Кроме того, заметные и выраженные положительные связи были обнаружены между показателями школьной, самооценочной и межличностной тревожности и содержанием Cd и Pb в волосах и ногтях. Концентрации Fe и Zn в волосах и ногтях отрицательно коррелировали с уровнем школьной, самооценочной и межличностной тревожности у подростков из химически загрязненного района ($r = -0,41 \div 0,69$). Как и по другим показателям, более выраженная теснота корреляционных связей обнаружена в волосах: концентрация Cu в волосах и ногтях с уровнем тревожности коррелировала слабо отрицательно ($r = -0,14 \div -0,22$).

В целом корреляционный анализ подтвердил факт высокой информативной значимости содержания токсичных и эссенциальных МЭ в волосах как показателя функционального состояния ГТАКС, ССС, а также уровня общей, школьной, межличностной и самооценочной тревожности.

Обсуждение результатов

Ряд полученных нами данных показал качественное сопоставление с результатами других исследователей. В частности, В. А. Демидовым и А. В. Скальным [7] также не было выявлено статистически значимых половых различий концентрации Pb в производных эпидермиса. Сходные данные по показателям ЧСС у подростков 13 лет в экологически благополучных районах получены Е. А. Милашечкиной [9].

В условиях химического загрязнения окружающей среды подпороговыми дозами Cd и Pb наряду с гипермикрэлементозом тяжелых металлов регистрировали гипомикрэлементоз эссенциальных МЭ — Zn и Fe, причем в волосах содержание Zn было снижено в 2,3 раза у мальчиков и в 3,1 раза у девочек, в ногтях

– в 2,6 и в 2,4 раза соответственно. Факт статистически значимого снижения содержания Zn в волосах и ногтях школьников 13 лет экспериментальной группы по сравнению с контролем можно объяснить антагонистическими отношениями между изучаемыми тяжелыми и эссенциальными МЭ [1]. Следует отметить, что, согласно данным литературы [16, 18], Zn участвует в процессах развития репродуктивных органов, необходим для синтеза гормонов (инсулин, кортикотропин, соматотропин, гонадотропины), входит в состав половых гормонов, влияет на активность гонадотропных гормонов гипофиза. Так как в норме в 13-летнем возрасте девочки опережают мальчиков по уровню полового созревания, то, возможно, этот факт может объяснить более выраженное снижение уровня Zn у девочек. С другой стороны, более высокий уровень половых стероидов у девочек 13 лет по сравнению с мальчиками [9] является стресс-лимитирующим фактором, что выражается в меньшей реактивности пучковой зоны коры надпочечников на дисбаланс МЭ в организме, детерминированный химическим загрязнением окружающей среды.

В условиях химического загрязнения окружающей среды у подростков 13 лет отмечали статистически значимое уменьшение Mo ($p < 0,001$) вне зависимости от пола, что указывает на преобладание центральных механизмов регуляции хронотропной функции сердца, в частности симпатической регуляции, над гуморальной. И это вполне объяснимо, учитывая особенности становления эндокринной системы и необходимость участия гормонов в ростовых процессах в период «второго скачка роста» (пубертатный скачок). Напряжение симпатического отдела ВНС может в дальнейшем привести к патологическим изменениям функции сердца. Активация симпатического отдела ВНС как ответ на включение центрального контура регуляции ритма сердца, о котором свидетельствует рост индекса напряжения у подростков 13 лет, особенно у мальчиков, может вызвать повышение тонуса гладкомышечных клеток, входящих в структуры стенок сосудов, а высокие показатели ЧСС покоя могут явиться причиной развития вегетососудистой дистонии, анемии, заболеваний ЦНС [4].

Измерение тревожности как свойства личности особенно важно, так как это свойство во многом обуславливает поведение субъекта и его адаптационный потенциал [14]. Преобладание среди девочек группы II по сравнению с мальчиками представителей с «чрезмерным спокойствием» по поводу обучения в школе (7,4 и 1,9 %) и межличностных отношений (16,7 и 1,9 % соответственно) в период гормональных перестроек можно объяснить тем, что нечувствительность к неблагоприятию носит компенсаторный, защитный характер и может препятствовать полноценному формированию личности, при этом школьник как будто не допускает неприятный опыт в сознание. Эмоциональное неблагоприятие в этом случае сохраняется ценой неадекватного отношения к действительности. По Е. И. Рогову [15], за «чрезмерным спокойствием»

может скрываться повышенная тревога, о которой подросток по тем или иным причинам не хочет сообщать окружающим.

Полученные нами данные согласуются с результатами исследования Sanders et al. [26], которые показали, что на физическое и психическое развитие детей могут оказывать негативное воздействие низкие уровни экспозиции к Pb (< 100 мкг/л крови). Имеются доказательства нейротоксичности Pb и Cd в пренатальный период [20, 24], вызывающих субклинические дисфункции [25]. Учитывая тот факт, что экспозиция Pb и Cd происходит в основном через продукты питания, питьевую воду, воздух, табачный дым [22, 23], выявление биомаркеров нейротоксичности и патологии эндокринной системы и ССС играет важную роль при реализации программы биомониторинга человека.

Таким образом, комплекс негативных изменений у подростков, проживающих в условиях техногенного загрязнения окружающей среды, включающий нарушение баланса МЭ в волосах и ногтях (гипермикроэлементоз Cd и Pb и гипомикроэлементоз Zn и Fe), изменения в функционировании ведущих адаптационных систем – гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной и ССС, изменение уровня тревожности, может быть использован в качестве маркера дизадаптации и предиктора психосоматического неблагоприятия. В свою очередь, раннее выявление указанных нарушений будет способствовать их своевременной коррекции.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Велданова М. В., Скальный А. В. Экологический портрет человека и роль микроэлементов. М., 2001. 236 с.
2. Афтanas Л. И., Бонитенко Е. Ю., Вареник В. И., Грабеклис А. Р., Киселев М. Ф., Лакарова Е. В., Нечипоренко С. П., Николаев В. А., Скальный А. В., Скальная М. Г. Элементный статус населения России. Часть I. Общие вопросы и современные методические подходы к оценке элементного статуса индивидуума и популяции / под ред. А. В. Скального, М. Ф. Киселева. СПб.: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2010. 416 с.
3. Базилевская Е. М., Якубова И. Ш., Ловцевич В. С., Скальный А. В., Детков В. Ю. Сравнительный анализ элементного статуса детей и молодежи г. Санкт-Петербурга: обоснование профилактики и восстановительного лечения микроэлементозов в детском возрасте // Вестник восстановительной медицины. 2013. № 6. С. 67–69.
4. Гичев Ю. П. Здоровье человека и окружающая среда: SOS! М., 2007. 186 с.
5. ГОСТ 26929-86 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов. 1995.
6. Губарева Л. И. Экологический стресс. Монография. СПб.: Лань; Ставрополь: Сервисшкола, 2001. 448 с.
7. Демидов В. А., Скальный А. В. Связь элементного состава волос жителей Центрального федерального округа с доминирующим типом почв // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2012. № 6. С. 7–16.
8. Ибрагимова М. Я., Скальная М. Г., Сабирова Л. Я., Скальный А. В., Жданов Р. И. Обмен макро- и микроэле-

ментов в организме человека. Современные методы определения химических элементов в биологических материалах // Избранные главы фундаментальной и трансляционной медицины / отв. ред. Р. И. Жданов. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2014. С. 330–346.

9. Милашечкина Е. А. Комплексный подход к оценке психосоматического здоровья и личностно-ориентированные методы его коррекции у подростков, проживающих в экологически неблагоприятных районах: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2005. 20 с.

10. Нифонтова О. Л., Литовченко О. Л., Гудков А. Б. Показатели центральной и периферической гемодинамики детей коренной народности Севера // Экология человека. 2010. № 1. С. 28–32.

11. Новикова И. А., Соловьев А. Г., Сидоров П. И. Психологические особенности больных с сердечно-сосудистой патологией // Российский кардиологический журнал. 2004. № 1 (45). С. 28–32.

12. О состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края. Ставрополь, 2006. 146 с.

13. Положий Б. С., Киселев Д. Н. Социодемографические, социально-средовые и психопатологические паттерны суицидального поведения // Психическое здоровье. 2013. Т. 11, № 12 (91). С. 29–34.

14. Поляшова Н. В., Соловьев А. Г., Новикова И. А. Адаптационный потенциал младших школьников и его взаимосвязь с параметрами физического развития // Экология человека. 2008. № 2. С. 34–38.

15. Рогов Е. И. Настольная книга практического психолога в 2 ч. Ч. 1. Система работы психолога с детьми разного возраста. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 416 с.

16. Скальный А. В. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие М.: Эксмо, 2010. 288 с.

17. Скальный А. В., Скальная М. Г., Демидов В. А., Грабеклис А. Р., Березкина Е. С., Лобанова Ю. Н., Серебрянский Е. П. Содержание химических элементов в волосах детского населения Москвы: связь с заболеваемостью (1995–2004 гг.) // Микроэлементы в медицине. 2016. Т. 17. Вып. 1. С. 10–18.

18. Третьяк Л. Н., Скальный А. В., Богатова О. В. Минеральные вещества-микро-нутриенты и здоровье детей // Микроэлементы в медицине. 2011. Т. 12. Вып. 1–2. С. 1–6.

19. Физиология развития ребенка. Руководство по возрастной физиологии / под ред. М. М. Безруких, Д. А. Фарбер. М.: Изд-во Московского психолого-социального института; Воронеж: Изд-во НПО «Модек», 2010. 32 п. л.

20. Andersen H. R., Nielsen J. B., Grandjean P. Toxicologic evidence of developmental neurotoxicity of environmental chemicals // Toxicology. 2000. Vol. 144 (1–3). P. 121–127.

21. Appenzeller B. M., Tsatsakis A. M. Hair analysis for biomonitoring of environmental and occupational exposure to organic pollutants: state of the art, critical review and future needs // Toxicol Lett. 2012. Vol. 210 (2). P. 119–140.

22. ATSDR. Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2007.

23. ATSDR. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta, GA: U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2008.

24. Blake B. Toxicology of the nervous system //

Hodgson E., editor. A textbook of modern toxicology. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004. P. 279–297.

25. Grandjean P., Landrigan P. J. Developmental neurotoxicity of industrial chemicals. Lancet. 2006. Vol. 368 (9553). P. 2167–2178.

26. Sanders T., Liu Y., Buchner V., Tchounwou P. B. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: a review. Rev Environ Health, 2009. Vol. 24. P. 15–45.

27. Wilhelm M., Eberwein G., Hölzer J., Glatke D., Angerer J., Marczynski B. et al. Influence of industrial sources on children's health – Hot spot studies in North Rhine Westphalia, Germany // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2007. Vol. 210 (5). P. 591–599.

References

1. Agadzhanyan N. A., Veldanova M. V., Skalny A. V. *Ekologicheskii portret cheloveka i rol' mikroelementov* [Environmental portrait of the man and the role of micronutrients]. Moscow, 2001, 236 p.

2. Aftanas L. I., Bonitenko E. Yu., Varenik V. I., Grabeklis A. R., Kiselev M. F., Lakarova E. V., Nechiporenko S. P., Nikolaev V. A., Skal'nyi A. V., Skal'naya M. G. *Elementnyi status naseleniia Rossii. Ch. 1. Obshhie voprosy i sovremennye metodicheskie podhody k otsenke elementnogo statusa individuuma i populyatsii* [An elemental status of the Russian population. Pt. 1. General issues and modern methodical approaches to assessment of the individual elemental status and population]. Saint Petersburg, 2010, 416 p.

3. Bazilevskaya E. M., Yakubova I. Sh., Lovtsevich V. S., Skal'nyi A. V., Detkov V. Yu. Comparative analysis of the elemental status of children and young people in St. Petersburg: the justification of prevention and rehabilitation treatment microelementosis in children. *Vestnik vosstanovitel'noi meditsiny* [Messenger of regenerative medicine]. 2013, 6, pp. 67-69 [in Russian]

4. Gichev Yu. P. *Zdorov'e cheloveka i okruzhayushchaya sreda: SOS!* [Human Health and the Environment: SOS!]. Moscow, 2007, 186 p.

5. GOST 26929-86 *Syr'e i produkty pishchevoye. Podgotovka prob. Mineralizatsiya dlya opredeleniya toksichnykh elementov* [State Standart 26929-86. Raw materials and food products. Preparation of samples. The mineralization for determination of toxic elements]. 1995.

6. Gubareva L. I. *Ekologicheskii stress* [Ecological stress]. Saint Petersburg, 2001, 448 p.

7. Demidov V. A., Skal'nyi A. V. Mutual relations the elemental composition of hair peoples of the Central Federal District with dominant type soil. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoi i farmatsevticheskoi khimii* [Questions of biological, medical and pharmaceutical chemistry]. 2012, 6, pp. 7-16. [in Russian]

8. Ibragimova M. Ya., Skal'naya M. G., Sabirova L. Ya., Skal'nyi A. V., Zhdanov R. I. Obmen makro- i mikroelementov v organizme cheloveka. *Sovremennye metody opredeleniya khimicheskikh elementov v biologicheskikh materialakh* [Exchange of macro- and microelements in the human body. Modern methods for the determination of chemical elements in biological materials]. In: *Izbrannye glavy fundamental'noi i translyatsionnoi meditsiny* [Selected chapters of fundamental and translational medicine]. Kazan, 2014, pp. 330-346.

9. Milashechkina E. A. *Kompleksnyi podkhod k otsenke psikhosomaticheskogo zdorov'ya i lichnostno-orientirovannye metody ego korrektsii u podrostkov, prozhivayushchikh v ekologicheski neblagopriyatnykh*

raionakh. Avtoref. kand. diss. [An integrated approach to the estimation of psychosomatic health and personal-focused methods of its correction at the teenagers living in ecologically unfavorable areas. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Stavropol, 2005, 20 p.

10. Nifontova O. L., Litovchenko O. L., Gudkov A. B. Indices of central and peripheral hemodynamics in indigenous children of the North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2010, 1, pp. 28-32. [in Russian]

11. Novikova I. A., Soloviev A. G., Sidorov P. I. Psychological peculiarities of patients with cardiovascular pathology. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Cardiology]. 2004, 1 (45), pp. 28-32 [in Russian]

12. *O sostoyanii okruzhayushchei sredy i prirodopol'zovanii v Stavropol'skom krae / Ministerstvo prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchei sredy Stavropol'skogo kraya* [About the state of the environment and Nature Use in the Stavropol region. Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Stavropol region]. Stavropol, 2006, 146 p.

13. Polozhii B. S., Kiselev D. N. Socio-demographic, socio-environmental and psychopathological patterns of suicidal behavior. *Psikhicheskoe zdorov'e* [Mental Health]. 2013, 11 (12, 91), pp. 29-34. [in Russian]

14. Polyashova N. V., Soloviev A. G., Novikova I. A. Adaptive potential of younger schoolchildren and its relationship with the parameters of physical development *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2008, 2, pp. 34-38. [in Russian]

15. Rogov E. I. *Nastol'naya kniga prakticheskogo psikhologa v 2 ch. Ch. 1. Sistema raboty psikhologa s det'mi raznogo vozrasta* [Handbook of Practical Psychology in 2 parts. Pt. 1. System work of psychologist with children of different ages]. Moscow, 2016, 416 p.

16. Skal'nyi A. V. *Mikroelementy: bodrost', zdorov'e, dolgoletie* [Microelements: vigor and health, longevity]. Moscow, 2010, 288 p.

17. Skal'nyi A. V., Skal'naya M. G., Demidov V. A., Grabeklis A. R., Berezkina E. S., Lobanova Yu. N., Serebryanskii E. P. The content of chemical elements in the hair of children's population of Moscow: the incidence of morbidity (1995-2004 years). *Mikroelementy v meditsine* [Microelements in medicine]. 2016, 17, iss. 1, pp. 10-18. [in Russian]

18. Tret'yak L. N., Skal'nyi A. V., Bogatova O. V. Mineral substances-micronutrients and child health. *Mikroelementy v*

meditsine [Microelements in medicine]. 2011, 12, iss. 1-2, pp. 1-6. [in Russian]

19. *Fiziologiya razvitiya rebenka. Rukovodstvo po vozrastnoi fiziologii* [The physiology of the child's development. On age physiology manual], Eds. M. M. Bezrukih, D. A. Farber. Moscow, Voronezh, 2010, 32 p. l.

20. Andersen H. R., Nielsen J. B., Grandjean P. Toxicologic evidence of developmental neurotoxicity of environmental chemicals. *Toxicology*. 2000, 144 (1-3), pp. 121-127.

21. Appenzeller B. M., Tsatsakis A. M. Hair analysis for biomonitoring of environmental and occupational exposure to organic pollutants: state of the art, critical review and future needs. *Toxicol Lett*. 2012, 210 (2), pp. 119-140.

22. ATSDR. Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA, U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007.

23. ATSDR. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta, GA, U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008.

24. Blake B. Toxicology of the nervous system. Hodgson E, editor. A textbook of modern toxicology. 3rd ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2004, pp. 279-297.

25. Grandjean P., Landrigan P. J. Developmental neurotoxicity of industrial chemicals. *Lancet*. 2006, 368 (9553), pp. 2167-78.

26. Sanders T., Liu Y., Buchner V., Tchounwou P. B. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: a review. *Rev Environ Health*. 2009, 24, pp. 15-45.

27. Wilhelm M., Eberwein G., Hölzer J., Gladtko D., Angerer J., Marczynski B. et al. Influence of industrial sources on children's health - Hot spot studies in North Rhine Westphalia, Germany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2007, 210 (5), pp. 591-599.

Контактная информация:

Губарева Любовь Ивановна – доктор биологических наук, профессор кафедры анатомии и физиологии, руководитель научно-образовательной лаборатории «Экологическая психофизиология» ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», почетный работник высшего профессионального образования

Адрес: 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1, корп. 3
E-mail: l-gubareva@mail.ru