

ISSN 1728-0869 (Print)
ISSN 2949-1444 (Online)

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

**EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)**

Volume 30, Issue 5, 2023

5

Том 30

2023

УЧРЕДИТЕЛИ:

- ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России;
- ООО «Эко-Вектор»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 20 марта 2020 г. Регистрационный номер ПИ № ФС77-78166

ИЗДАТЕЛЬ:

ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург, Аптекарский переулочек, д. 3, литера А, помещение 1Н

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: https://eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ:

Адрес: 163069, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51.

Тел. +7 (818) 220 6563;

E-mail: he-office@eco-vector.com

ИНДЕКСАЦИЯ:

– SCOPUS

– Google Scholar

– Ulrich's Periodicals directory

– ядро РИНЦ

– Russian Science Citation Index

– Norwegian National Center for Research Data

– реферативный журнал и база данных ВИНИТИ

– Global Health

– CAB Abstracts

– ProQuest

– InfoBase Index

– EBSCO Publishing (на платформе EBSCOhost)

– КиберЛенинка

Оригинал-макет подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».

Литературный редактор: Н.А. Лебедева

Корректор: Н.А. Лебедева

Верстка: О.В. Устинкова

Перевод: А.А. Богачев

Сдано в набор 28.08.2023.

Подписано в печать 08.09.2023.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ 3-8159-Х. Цена свободная.

Печ. л. 9,25. Уч.-изд. л. 8,6. Усл. печ. л. 5.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс В2В»

191180, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки,

д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1.

Тел.: +7 (812) 646 33 77

ПОДПИСКА:

<https://hum-ecol.ru/1728-0869/about/subscriptions>

OPEN ACCESS:

В электронном виде журнал распространяется бесплатно — в режиме немедленного открытого доступа.

ОТДЕЛ РЕКЛАМЫ:

Тел.: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

Редакция не несёт ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://hum-ecol.ru>

16+

Экология человека. 2023. Т. 30, № 5.

ISSN 1728-0869 (Print)
ISSN 2949-1444 (Online)

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 30 • № 5 • 2023

Основным направлением деятельности журнала является публикация результатов научных исследований, посвящённых проблемам экологии человека и имеющих как фундаментальное, так и прикладное значение.

Тематика и специализация журнала включает эколого-физиологические основы жизнедеятельности человека, экологию природных и социальных катастроф, воспроизводство населения и демографические процессы, а также вопросы общественного здоровья и социальной политики.

Журнал ориентирован на широкий круг научной общественности, практических врачей, экологов, биологов, социальных работников, работников сферы образования и др.

В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры и краткие сообщения по всем аспектам экологии человека и общественного здоровья.

Профили, по которым журнал включён в «Перечень ВАК»: 03.00.00. Биологические науки, 03.02.00. Общая биология, 03.03.00. Физиология, 14.00.00. Медицинские науки, 14.01.00. Клиническая медицина, 14.02.00. Профилактическая медицина, 05.00.00. Технические науки, 05.26.00. Безопасность деятельности человека.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор — **А. М. Гржибовский** (Архангельск)

Заместители главного редактора:

А. Б. Гудков (Архангельск), **И. Б. Ушаков** (Москва)

Научный редактор — **П. И. Сидоров** (Архангельск)

Международный редактор — **Й. О. Одланд** (Норвегия)

Ответственный секретарь — **В. А. Постоев** (Архангельск)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

И. Н. Болотов (Архангельск), Р. В. Бузинов (Архангельск), П. Вейхе (Фарерские острова), М. Гисслер (Финляндия/Швеция), Л. Н. Горбатова (Архангельск), А. В. Грибанов (Архангельск), Р. Джонсон (США), Н. В. Доршакова (Петрозаводск), П. С. Журавлев (Архангельск), Н. В. Зайцева (Пермь), А. Ингве (Швеция), Р. Каледене (Литва), В. А. Карпин (Сургут), П. Магнус (Норвегия), В. И. Макарова (Архангельск), А. Л. Максимов (Магадан), А. О. Марьяндышев (Архангельск), И. Г. Мосягин (Санкт-Петербург), Э. Нибоер (Канада), Г. Г. Онищенко (Москва), К. Пярна (Эстония), А. Раутио (Финляндия), Ю. А. Рахманин (Москва), Г. Роллин (ЮАР), М. Рудге (Бразилия), Й. Руис (Испания), А. Г. Соловьев (Архангельск), Г. А. Софронов (Санкт-Петербург), В. И. Торшин (Москва), Т. Н. Унгурияну (Архангельск), В. П. Чашин (Санкт-Петербург), В. А. Черешнев (Москва), З. Ши (Катар), К. Ю (Китай), К. Янг (Канада)



ЭКО • ВЕКТОР

FOUNDERS:

- Northern State Medical University;
- Eco-Vector

PUBLISHER:

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok,
191186 Saint Petersburg, RussiaE-mail: info@eco-vector.comWEB: <https://eco-vector.com>**EDITORIAL OFFICE:**Address: 51 Troitsky Ave., Arkhangelsk 163000,
RussiaE-mail: he-office@eco-vector.com

Phone: +7 (818) 2206563

PUBLICATION ETHICS

Journal's ethic policies are based on:

- ICMJE
- COPE
- ORE
- CSE
- EASE

OPEN ACCESS:Immediate Open Access is mandatory
for all published articles**INDEXATION:**

- SCOPUS
- Google Scholar
- Ulrich's Periodicals directory
- Russian Science Citation Index
- Norwegian National Center for Research
Data
- Global Health
- CAB Abstracts
- ProQuest
- InfoBase Index

TYPESET:

completed in Eco-Vector

Copyeditor: N.A. Lebedeva

Proofreader: N.A. Lebedeva

Layout editor: O.V. Ustinkova

Translator: A.A. Bogachev

SUBSCRIPTION:[https://hum-ecol.ru/1728-0869/about/
subscriptions](https://hum-ecol.ru/1728-0869/about/subscriptions)**ADVERTISEMENT DEPARTMENT:**

Phone: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://hum-ecol.ru>.

EKOLOGIYA

C H E L O V E K A (H U M A N E C O L O G Y)

Monthly peer-reviewed journal

Volume 30 • Issue 5 • 2023

Human Ecology is a peer-reviewed Russian journal with the main focus on research and practice in the fields of human ecology and public health.

The journal publishes original articles, review papers and materials on research methodology.

The primary audience of the journal includes health professionals, environmental specialists, biomedical researchers and post-graduate students.

Although we welcome papers from all over the world special attention is given to manuscripts on Arctic health research.

The mission of the journal is to publish quality-assured research in all fields related to human ecology and to integrate research and researchers from Russian-speaking countries into the international scientific community.

EDITORIAL BOARD:Editor-in-Chief: **A. M. Grjibovski** (Arkhangelsk)

Deputy Editors-in-Chief:

A. B. Gudkov (Arkhangelsk), **I. B. Ushakov** (Moscow)Science Editor: **P. I. Sidorov** (Arkhangelsk)International Editor: **J. Ø. Odland** (Norway)Executive Secretary: **V. A. Postoev** (Arkhangelsk)**EDITORIAL COUNCIL:**

- I. N. Bolotov (Arkhangelsk), R. V. Buzinov (Arkhangelsk), P. Weihe (Faroe Islands),
M. Gissler (Finland/Sweden), L. N. Gorbatova (Arkhangelsk),
A. V. Gribanov (Arkhangelsk), R. Johnson (USA), N. V. Dorshakova (Petrozavodsk),
P. S. Zhuravlev (Arkhangelsk), N. V. Zaitseva (Perm), A. Yngve (Sweden),
R. Kalediene (Lithuania), V. A. Karpin (Surgut), P. Magnus (Norway),
V. I. Makarova (Arkhangelsk), A. L. Maksimov (Magadan),
A. O. Maryandyshev (Arkhangelsk), I. G. Mosyagin (Saint Petersburg),
E. Nieboer (Canada), G. G. Onishchenko (Moscow), K. Pärna (Estonia),
A. Rautio (Finland), Ya. A. Rakhmanin (Moscow), H. Rollin (South Africa),
M. Rudge (Brazil), J. Ruiz (Spain), A. G. Soloviev (Arkhangelsk),
G. A. Sofronov (Saint Petersburg), V. I. Torshin (Moscow),
T. N. Unguryanu (Arkhangelsk), V. P. Chashchin (Saint Petersburg),
V. A. Chereshev (Moscow), Z. Shi (Qatar), C. Yu (China), K. Young (Canada)

СОДЕРЖАНИЕ

Обзоры

М.В. Поздняков, С.И. Мазилев, С.В. Райкова, Ю.С. Гусев, Н.Е. Комлева, А.Н. Микеров

Оценка качества атмосферного воздуха в разных странах (обзор)..... 325

Оригинальные исследования

В.И. Корчин, Е.П. Федорова, Т.Я. Корчина, А.В. Нехорошева, С.В. Нехорошев

Корректирующее влияние дигидрокверцетина на состояние окислительного метаболизма у юношей-спортсменов зимних видов спорта в условиях северного региона..... 341

Л.В. Рычкова, Т.А. Астахова, О.В. Бугун, Е.Е. Храмова

Особенности репродуктивного здоровья и репродуктивного поведения девушек, проживающих в Тофаларии..... 353

М.В. Капитальчук, Н.А. Голубкина, И.П. Капитальчук

Содержание селена в волосах населения Республики Молдова..... 363

Д.Б. Дёмин

Характер реагирования кардиоваскулярной системы на биоуправление у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих в северных и южном регионах..... 375

О.А. Фролова, Е.П. Бочаров, Е.А. Тафеева

Оценка канцерогенного риска воздействия химических веществ, поступающих с пищевыми продуктами, на основе региональных факторов экспозиции..... 385

CONTENTS

Reviews

<i>M.V. Pozdnyakov, S.I. Mazilov, S.V. Raikova, Yu.S. Gusev, N.E. Komleva, A.N. Mikerov</i> A review of international experience in air quality assessments	325
--	-----

Original Study Articles

<i>V.I. Korchin, E.P. Fedorova, T.Ya. Korchina, A.V. Nehorosheva, S.V. Nehoroshev</i> Effect of dihydroquercetin on oxidative metabolism in young athletes engaged in winter sports in a northern region.	341
<i>L.V. Rychkova, T.A. Astahova, O.V. Bugun, E.E. Khramova</i> Reproductive health and reproductive behavior of adolescent girls in Tofalaria	353
<i>M.V. Kapitalchuk, N.A. Golubkina, I.P. Kapitalchuk</i> Hair concentrations of selenium in the Moldovan population	363
<i>D.B. Demin</i> Response of the cardiovascular system to heart rate variability biofeedback intervention in adolescents with different autonomic nervous tone living in northern and southern regions	375
<i>O.A. Frolova, Ye.P. Bocharov, E.A. Tafeeva</i> Assessment of carcinogenic risk associated with chemical exposure from food products	385

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco456406>

Оценка качества атмосферного воздуха в разных странах (обзор)

М.В. Поздняков^{1, 2}, С.И. Мазилев¹, С.В. Райкова^{1, 2}, Ю.С. Гусев¹,
Н.Е. Комлева^{1, 2}, А.Н. Микеров^{1, 2}

¹ Саратовский медицинский научный центр гигиены Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Саратов, Российская Федерация;

² Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

На основании данных научной литературы, нормативно-методических документов обобщён мировой опыт в области оценки качества атмосферного воздуха в разных странах. Приведены особенности нормирования содержания поллютантов в атмосферном воздухе в ряде стран, включая Россию, и сравнение норм, установленных в этих государствах. Выявлены различные подходы к нормированию содержания поллютантов в атмосферном воздухе в разных странах. Проанализированы методы оценки качества воздуха и инструментального контроля в разных странах, рассмотрены наиболее известные и популярные математические модели оценки и прогнозирования качества атмосферного воздуха. Выявлено, что данные о состоянии атмосферного воздуха, полученные с помощью прогностического моделирования, имеют значительное сходство с данными, полученными на основе натуральных измерений, однако использование широкой сети станций измерения позволяет получить наиболее точные данные о концентрации загрязнителей атмосферного воздуха в текущий период времени. Приведён обзор мировых онлайн-сервисов мониторинга состояния атмосферного воздуха в реальном времени. Описаны методики оценки риска влияния концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на здоровье населения.

Установлено, что наибольшие успехи в области контроля качества атмосферного воздуха достигнуты в странах Европы, США, Китае, жители которых могут получать актуальную информацию о состоянии атмосферного воздуха в свободном доступе в режиме реального времени. В России, несмотря на проводимую оценку качества атмосферного воздуха, до настоящего времени не существует доступного для населения единого сервиса, позволяющего получить всю необходимую информацию о качестве атмосферного воздуха.

Ключевые слова: оценка качества атмосферного воздуха; поллютанты; нормирование; онлайн-сервисы мониторинга; риски; здоровье.

Как цитировать:

Поздняков М.В., Мазилев С.И., Райкова С.В., Гусев Ю.С., Комлева Н.Е., Микеров А.Н. Оценка качества атмосферного воздуха в разных странах (обзор) // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 325–339. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco456406>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco456406>

A review of international experience in air quality assessment

Michail V. Pozdnyakov^{1,2}, Svyatoslav I. Mazilov¹, Svetlana V. Raikova^{1,2},
Yury S. Gusev¹, Natalia E. Komleva^{1,2}, Anatoly N. Mikerov^{1,2}

¹ Saratov Hygiene Medical Research Center of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Saratov, Russian Federation;

² Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation

ABSTRACT

This article provides a comprehensive overview of global practices in assessing atmospheric air quality in different countries. The review is based on scientific literature, regulatory frameworks, and methodological documents. It delves into the specificities of pollutant regulation in various countries, including Russia, and compares the standards established in each. Substantial differences in the approaches to the regulation of pollutants in the atmospheric have been identified between the countries.

Furthermore, this study examines the methods for assessing air quality and instrumental control. It explores renowned mathematical models used for evaluating and predicting atmospheric air quality. Notably, the findings reveal striking similarities between data obtained through predictive modeling and field measurements. However, the utilization of an extensive network of measurement stations enables the acquisition of the most precise and up-to-date information on atmospheric pollutant concentrations.

Moreover, this article offers an overview of online services available globally for real-time monitoring of atmospheric air quality. These platforms play a crucial role in providing immediate insights into the state of the air we breathe. Additionally, the article presents the methods employed for assessing the health risks associated with atmospheric pollutant levels and their impact on the population health.

It has been established that the countries of Europe, the USA, and China have achieved significant success in the field of atmospheric air quality control. Residents in these countries have access to up-to-date information about the state of atmospheric air in real-time. However, in Russia, despite ongoing assessments of air quality, there is currently no public service available that provides comprehensive information on atmospheric air quality.

Keywords: ambient air quality estimation; air pollutants; regulation; online monitoring services; risks; health.

To cite this article:

Pozdnyakov MV, Mazilov SI, Raikova SV, Gusev YuS, Komleva NE, Mikerov AN. A review of international experience in air quality assessment. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):325–339. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco456406>

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение атмосферного воздуха признаётся ВОЗ одной из самых серьёзных экологических угроз [1]. Развитие промышленного комплекса, рост индустриализации приводят к увеличению выбросов в атмосферу. Аэрополлютанты оказывают ряд негативных эффектов на здоровье человека, приводя к формированию и прогрессированию заболеваний сердечно-сосудистой, дыхательной, эндокринной систем, аллергических реакций, онкопатологии и др. [2]. Детское население, лица с хроническими заболеваниями являются наиболее уязвимыми к негативному воздействию загрязнителей атмосферного воздуха [3]. В связи с вышесказанным постоянный контроль за качеством атмосферного воздуха является важнейшей задачей на государственном и общемировом уровнях.

В обзоре представлен мировой опыт нормирования аэрополлютантов, оценки качества атмосферного воздуха, охарактеризованы существующие онлайн-сервисы мониторинга состояния атмосферного воздуха, методики расчёта риска влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения в разных странах.

НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАЗНЫХ СТРАНАХ

Нормирование содержания загрязнителей атмосферного воздуха в представленных в обзоре странах осуществляется на государственном уровне. Для загрязнителей атмосферного воздуха с учётом класса опасности установлены

предельно допустимые концентрации (ПДК). Нормирование содержания загрязняющих веществ проводится путём определения значения максимально-разовых, среднесуточных и среднегодовых концентраций. Каждое государство самостоятельно устанавливает ПДК аэрополлютантов, однако существуют «Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твёрдых частиц (PM_{2.5} и PM₁₀), озона, двуокиси азота, двуокиси серы и окиси углерода» [4]. Данные рекомендации основаны на экспертной оценке актуальных научных данных об их влиянии на здоровье человека и применимы в любой стране мира (табл. 1).

В документе ВОЗ [4] также представлены рекомендации качественного характера о содержании в воздухе сажи/атомарного углерода, сверхтонких взвешенных частиц (диаметром ≤1 мкм) и частиц, попадающих в воздух в результате пыльных и песчаных бурь.

Помимо различных значений ПДК аэрополлютантов атмосферного воздуха в разных государствах используются разные временные периоды нормирования загрязнителей и единицы измерения их концентрации. Например, в США для измерения содержания CO, O₃ используют ppm (“particles per million”, частиц на миллион), для NO₂ — ppb (“particles per billion”, частиц на миллиард), а в странах Европы и Китае для CO — мг/м³, O₃, NO₂ — мкг/м³. Для удобства сравнения в табл. 2 все величины приведены в соответствие с принятыми в России единицами мг/м³, для чего были использованы коэффициенты, связывающие молекулярную массу вещества, концентрацию в ppm, ppb и объёмную концентрацию [5].

В России ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе регламентируются санитарными правилами и нормами¹. В данном документе приводятся ПДК около

Таблица 1. Предельно допустимая концентрация загрязнителей воздуха, рекомендованная ВОЗ [4]

Table 1. WHO maximum permissible concentration of air pollutants [4]

Загрязнитель Pollutant	Среднегодовое значение, мкг/м ³ Average annual concentration, µg/m ³	Среднесуточное значение, мкг/м ³ Average daily concentration, µg/m ³
SO ₂	—	40
CO	—	4000
NO ₂	10	25
O ₃	60*	100**
PM _{2.5}	5	15
PM ₁₀	15	45

* суточная 8-часовая средняя концентрация, пиковый сезон. Пиковая сезонная концентрация рассчитывается как среднесуточная 8-часовая концентрация O₃ в течение шести идущих подряд месяцев с наибольшим средним шестимесячным значением концентрации O₃.

** суточная 8-часовая максимальная концентрация, рассчитывается как 99-й перцентиль (т.е. 3–4 дня превышения фонового уровня в год).

* daily 8-hour average concentration, peak season. Peak seasonal concentration is calculated as the daily average 8-hour O₃ concentration for six consecutive months with the highest average six-month O₃ concentration.

** daily 8-hour maximum concentration, calculated as the 99th percentile (i.e. 3–4 days above the background level per year).

¹ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Дата обращения: 05.05.2023. Доступ по ссылке: https://www.rosпотребнадзор.ru/files/news/GN_sreda%20obitaniya_compressed.pdf

Таблица 2. Предельно допустимые концентрации загрязнителей в различных странах, мг/м³**Table 2.** Maximum permissible concentration of pollutants in different countries (mg/m³)

Страна Country	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO	Pb	Взвешенные частицы Particulate matter	
						PM _{2.5}	PM ₁₀
Россия Russia	0,05/0,5	0,04/0,1	0,03/0,1	3,0/3,0	0,00015/0,0003	0,025/0,035	0,04/0,06
США USA	–/1,33	0,10/0,19	–/0,14	–/10,45	0,00015/–	0,012/0,035	–/0,15
ЕС EU	–/0,125	0,04/0,2	–/0,12	–/10	0,0005/–	0,02/–	0,04/0,05
Китай China	0,02/0,05	0,04/0,08	–/0,1	4/10	0,0005/–	0,015/0,035	0,04/0,05

Примечание: в числителе — среднегодовые, в знаменателе — среднесуточные значения.
Note: in the numerator — the average annual, in the denominator — the average daily values.

1700 загрязняющих веществ, которые содержатся в атмосферном воздухе, в том числе указанных в табл. 2. Документ устанавливает также ПДК микроорганизмов-продуцентов, бактериальных препаратов и их компонентов в атмосферном воздухе, ориентировочные безопасные уровни и аварийные пределы воздействия отравляющих веществ и продуктов их деструкции в атмосферном воздухе.

В США стандарты качества атмосферного воздуха установлены в соответствии с действующим законом «О чистом воздухе», согласно которому Агентство по защите окружающей среды (United States Environmental Protection Agency, EPA) проводит нормирование шести основных загрязнителей [6]. Закон «О чистом воздухе» определяет два типа национальных стандартов качества атмосферного воздуха. Первичные стандарты обеспечивают охрану общественного здоровья, в том числе защиту наиболее чувствительных групп населения: лиц, страдающих астмой; детей и лиц пожилого возраста. Вторичные стандарты обеспечивают защиту общественного благосостояния, включая защиту от ухудшения видимости и повреждения животных, сельскохозяйственных культур, растительности и зданий.

В Европейском Союзе требования к качеству атмосферного воздуха регламентируются Европейским агентством по окружающей среде (European Environment Agency, EEA). Помимо шести загрязнителей, нормируемых EPA, европейскими стандартами определяются ПДК для бензола, мышьяка, кадмия, никеля, полициклических ароматических углеводородов [7, 8].

В последние 10 лет существенное внимание состоянию атмосферного воздуха уделяется в Китае [9], где оценка качества атмосферного воздуха осуществляется в соответствии со стандартом GB 3095—2012¹, в котором основными загрязнителями признаны SO₂, NO₂, CO, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}. Существуют также дополнительные

стандарты, устанавливающие ПДК для бенз[а]пирена, свинца, оксидов азота, общего количества взвешенных частиц.

Таким образом, в разных странах используют различные подходы к нормированию содержания загрязнителей в атмосферном воздухе.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Методы оценки

Оценка качества атмосферного воздуха проводится как по данным инструментальных замеров с помощью стационарных, маршрутных и передвижных постов наблюдения, так и по расчётным данным с использованием современных компьютерных моделей [10].

Для определения концентрации взвешенных частиц используют датчики (дешевы в производстве, имеют низкое энергопотребление и быстрое время отклика [11]), в основе работы которых лежит метод рассеяния света [12]. В этом методе источник света освещает частицы, а затем с помощью фотометра измеряется рассеянный свет от них. Для частиц диаметром более ~0,3 мкм количество рассеянного света примерно пропорционально их массовой/численной концентрации, однако частицы диаметром менее ~0,3 мкм не рассеивают достаточно света и не могут быть обнаружены этим методом [13, 14]. Обнаруживаемые частицы (диаметром более 0,3 мкм) можно разделить по размеру с помощью алгоритма на основе сигнала, полученного от рассеянного света [15], либо путём прикрепления импактора/фильтра на входе [16].

Для измерения газообразных загрязнителей воздуха в настоящее время применяют два типа датчиков: металл-оксид-полупроводник (МОП) и электрохимические. В датчиках типа МОП используется оксид металла, который меняет свои электрические свойства (чаще сопротивление) при воздействии целевого газа. Это изменение легко измерить, и оно соответствует концентрации газа [17]. Такие датчики имеют небольшие размеры (несколько

¹ Ambient air quality standards GB 3095—2012. Дата обращения: 05.05.2023.

Доступ по ссылке: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/chn136756.pdf>

миллиметров), весят несколько граммов, недорогие (~10 долларов США), имеют быстрое время отклика, низкие пределы обнаружения и потребляемую мощность (~100 мВт) [18, 19]. К недостаткам датчиков типа МОП можно отнести высокую чувствительность к изменениям условий окружающей среды и мешающим газам, также многие датчики имеют нелинейную кривую отклика [20, 21]. В электрохимическом датчике целевой газ подвергается электролизу (окислению или восстановлению) на рабочем электроде и генерирует электрический ток, который уравнивается реакцией на противоэлектроде. Измеренный электрический ток соответствует концентрации газа, а отклик — линейный либо логарифмический [18]. Утверждается, что электрохимические датчики имеют более низкие пределы обнаружения, требования к мощности (~100 мкВт) и чувствительность к изменениям условий окружающей среды и мешающим газам, чем датчики типа МОП, но для них характерен больший размер (несколько десятков миллиметров) и более высокая цена (~100 долларов США) [18, 19].

В обзоре [22] описаны 112 моделей станций мониторинга качества воздуха от 77 производителей. По данным ВОЗ, стационарные наблюдательные посты установлены в 6000 городов 117 стран мира [23]. В рамках проекта World Air Quality Index публикуются данные от 12 000 станций мониторинга, в том числе персональных, а общее их количество — более 30 000 [24].

Кроме наземных станций слежения, в настоящее время используют также спутниковые системы дистанционного зондирования, которые измеряют оптическую толщину аэрозоля (Aerosol Optical Thickness, AOT, или Aerosol Optical Depth, AOD), для чего применяют спектрометрические технологии (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) [25]. Продукты MODIS-AOD эффективно используются для прогнозирования краткосрочных концентраций $PM_{2.5}$ в Китае [26, 27], а также при создании карт [28]. Недостатком таких систем является тот факт, что облачный покров серьёзно ограничивает фактический пространственный охват AOD [29]. Спутниковые данные актуальны по времени только для момента прохождения спутника, интегральны по всему атмосферному столбу.

Для повышения точности и надёжности спутниковые данные объединяют с наземными или воздушными. За последние 20 лет во многих странах (США, Китае, России и др.) [30] развёрнуты разные полевые кампании распределённых региональных сетей наблюдений за аэрозолями (Distributed Regional Aerosol Gridded Observation Networks, DRAGON) [31, 32].

Опыт России

В Российской Федерации в рамках реализации национального проекта «Экология» с 2018 года действует Федеральный проект «Чистый воздух». Он направлен на снижение выбросов опасных загрязняющих

веществ, оказывающих наибольшее негативное влияние на окружающую среду и здоровье населения [33]. Данные от автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха поступают в режиме реального времени в Центр сбора данных Росгидромета на базе ФГБУ «НПО Тайфун». Станции контроля расположены в 12 городах на территории 9 управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита [34]. Вся официальная информация и новости проекта публикуются на официальном сайте², а также в социальных сетях и мессенджерах.

На сайте Росгидромета также имеется ограниченная информация о проекте «Чистый воздух». При этом существует как официальный сайт Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды — УГМС (Росгидромета)³, так и сайты управлений отдельных регионов или федеральных округов [35]. К примеру, на сайте «Приволжского УГМС»⁴ описывается реализация проекта «Чистый воздух» в г. Медногорске Оренбургской области. Сайты различных УГМС не имеют единообразного оформления и структуры, в то же время практически на всех присутствует раздел «Мониторинг загрязнения окружающей среды», в котором представлены интерактивные карты мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Данные карты отображают либо только места расположения стационарных постов наблюдения, либо концентрацию загрязняющих веществ в ПДК в местах наблюдения. Можно также найти информацию о загрязняющих веществах, определяемых отдельными постами наблюдения. Однако полная информация о качестве атмосферного воздуха в режиме реального времени, а также прогностические данные о загрязнении воздуха на территории соответствующего УГМС в свободном доступе отсутствуют. Таким образом, несмотря на проводимый контроль за состоянием атмосферного воздуха, в России не существует единой системы для визуализации данной информации в удобном виде.

Опыт США

По данным EPA, на территории США функционируют около 4000 станций мониторинга, принадлежащих в основном государственному природоохранному органам и эксплуатируемых ими, которые предоставляют ежедневные или ежечасные результаты измерения концентраций загрязняющих веществ в базу данных AQS (Air Quality System) [36].

² Федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология». Официальный сайт. Дата обращения: 05.05.2023. Доступ по ссылке: <http://min.prirodyair.tilda.ws>

³ Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Официальный сайт. Дата обращения: 05.05.2023. Доступ по ссылке: <https://www.meteorf.gov.ru/>

⁴ ФГБУ «Приволжское УГМС». Официальный сайт. Дата обращения: 05.05.2023. Доступ по ссылке: <http://www.pogoda-sv.ru>

Для мониторинга содержания в атмосферном воздухе $PM_{2.5}$ как наиболее приоритетного загрязнителя применяется компьютерная модель Community Multiscale Air Quality model (CMAQ) [37] с использованием 13 вертикальных слоёв, которые охватывают верхнюю часть тропосферы над территорией США. В качестве выходных данных CMAQ о среднесуточной концентрации $PM_{2.5}$ используются почасовые выходные данные приземного слоя (около 19 м от земли). Помимо $PM_{2.5}$ модели CMAQ прогнозируют также концентрации в атмосферном воздухе озона, токсичных и кислотообразующих веществ. Данные CMAQ используются проектом EQUATES (EPA's Air QUALity Time Series Project) для поддержки нормативно-правового и политического анализа, а также исследований в области здравоохранения и экологии. Доступ к ресурсу предоставляется по запросу⁵.

Опыт европейских стран

European Environment Agency, осуществляющее контроль качества атмосферного воздуха на территории Европейского союза, регулируется Управляющим советом, состоящим из представителей правительств 33 государств (стран ЕС, Исландии, Лихтенштейна, Норвегии, Турции и Швейцарии), представителя Европейской комиссии и двух учёных, назначенных Европейским парламентом. Агентство образовано в 1990 году, штаб-квартира находится в Копенгагене (Дания). Европейское агентство ЕЕА тесно сотрудничает с американским EPA [38].

Помимо общеевропейской существуют национальные организации, такие как Федеральное агентство по окружающей среде Германии (Umweltbundesamt, UBA)⁶, которые также могут использовать инфраструктуру EPA. Так, например, в работе [39] проанализированы данные долгосрочных наблюдений за изменчивостью твёрдых частиц ($PM_{2.5}$, PM_{10}), газообразных загрязнителей (CO , NO_2 , NO_x , SO_2 и O_3) и метеорологических факторов на 412 стационарных станциях мониторинга с января 2008 по декабрь 2018 года на территории Германии. Исследователями выявлены значительные корреляционные связи концентрации CO и температуры с концентрацией $PM_{2.5}$ и PM_{10} , при этом обнаруженная слабая корреляция между концентрациями самих $PM_{2.5}$ и PM_{10} позволила авторам сделать вывод о том, что у них разные источники.

В Великобритании основной сетью, осуществляющей контроль качества атмосферного воздуха, является Государственная автоматическая городская и сельская сеть AURN (Automatic Urban and Rural Network) [40], при этом в крупных городах есть и собственные независимые станции. Так, например, городской совет Бристоля содержит

пять дополнительных станций мониторинга, которые работают по тем же принципам, что и национальная сеть AURN [40].

В Европе реализуются также наднациональные проекты, направленные на повышение вовлечённости населения в решение проблем загрязнения атмосферного воздуха. Например, шесть европейских городов/регионов объединены в экологическую игру проекта Clair City Skylines⁷ (Бристоль, Великобритания; Амстердам, Нидерланды; Сосновец, Польша; Любляна, Словения; Авейру, Португалия; Лигурия, Италия) [41].

Опыт Индии

Экономическая и экологическая политика Индии не предусматривает повсеместного использования большого количества наземных станций мониторинга. Предпочтение отдаётся компьютерному моделированию на основе точечных натуральных данных о состоянии атмосферного воздуха с использованием пространственной интерполяции. Наиболее плотная сеть мониторинга находится в наибольшем по численности населения городе Мумбаи [42]. Каждая станция мониторинга предоставляет информацию о качестве воздуха в определённом месте, в то время как для общего контроля качества воздуха необходимы пространственные вариации. Данные мониторинга качества воздуха пространственно интерполируются с использованием методов ArcGIS: взвешивание по обратному расстоянию (IDW), кригинг (сферический и гауссовский) и сплайновые методы. В работе [42] интерполированные результаты по концентрации загрязнителей воздуха сравнивались с натурными данными в том же регионе. Сравнение результатов показало хорошее совпадение значений, рассчитанных с помощью IDW и кригинга, с данными наблюдений.

Опыт Китая

В Китае мониторинг качества окружающей среды осуществляется с начала 1970-х годов и продолжает активно развиваться [43]. В настоящее время в этой стране существует четырёхуровневая система контроля качества атмосферного воздуха, которая включает в себя станции мониторинга на национальном, провинциальном, муниципальном и уездном уровнях. На национальном уровне China National Environmental Monitoring Center (CNEMC) является центром технологий, сетей, информации, контроля качества и обучения в отношении мониторинга качества окружающей среды. Собираемые CNEMC данные обеспечивают качественную оценку состояния атмосферного воздуха в стране. В 2012 году была завершена работа по настройке Национальной сети мониторинга качества атмосферного воздуха, состоящей из 1436 пунктов наблюдения, которая охватила 338 городов уровня

⁵ Данные компьютерной модели Community Multiscale Air Quality model (CMAQ). Дата обращения: 02.04.2023. Доступ по ссылке: https://www.epa.gov/cmaq/forms/cmaq-data#download_CMAQ_data

⁶ Федеральное агентство по окружающей среде Германии Umweltbundesamt. Официальный сайт. Дата обращения: 02.05.2023. Доступ по ссылке: <https://www.umweltbundesamt.de/en/>

⁷ Проект Clair City Skylines. Дата обращения: 02.04.2023. Доступ по ссылке: <http://www.claircity.eu/2020/02/06/claircity-skylines/>

префектуры или выше в 31 провинции. Кроме того, в провинциях, автономных районах и муниципалитетах центрального подчинения создано более 4000 провинциальных и городских контрольных пунктов. Таким образом, Китай построил крупнейшую сеть мониторинга качества воздуха в городской среде среди всех развивающихся стран. К концу 2012 года 74 города-первопроходца регулярно проводили мониторинг шести загрязнителей воздуха (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃ и CO), а с начала 2015 года мониторинг шести вышеуказанных загрязнителей воздуха проводится во всех 338 городах сети [43]. С 2015 года в 20 городах провинции Сычуань начался мониторинг в режиме реального времени шести стандартных загрязнителей атмосферы (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃ и CO) с почасовой публикацией данных Министерством охраны окружающей среды КНР [44].

Однако, несмотря на обширную сеть станций мониторинга качества воздуха, в Китае также используются системы моделирования. В настоящее время типовые модели качества воздуха можно разделить на регулируемые модели малого и среднего масштаба (ISC3, AERMOD, ADMS, CALPUFF), комплексные модели регионального масштаба (NAQPMS, CAMX, WRF-CHEM, CMAQ) и модели глобального масштаба (MOZART, GEOS-Chem). Согласно другой классификации, модели делятся на модели рассеивания, фотохимические и модели рецепторов [45].

Таблица 3. Онлайн-сервисы мониторинга состояния атмосферного воздуха

Table 3. Air condition monitoring online services

Название, сайт Name, site	Страна Country	Загрязнители Pollutants		Особенности Features
		физические physical	химические chemical	
BreezoMeter https://www.breezometer.com	Израиль Israel	PM _{2.5} PM ₁₀	NO ₂ NO _x NO O ₃ SO ₂ CO	Используется комбинация данных от спутников и наземных станций. Приложение для смартфона отображает качество воздуха в режиме реального времени с точностью до 5 м Uses a combination of data from satellites and ground stations Smartphone app to display air quality in real time with an accuracy of up to 5 m
CityAir https://cityair.ru/ru/ AirVoice https://airvoice.io/ru	Россия Russia	PM _{2.5} PM ₁₀	NO ₂ O ₃ SO ₂ CO H ₂ S	В основе моделирования лежат прогноз поля скоростей ветра (GFS, WRF) и данные об основных источниках эмиссий. Охватывает очень мало городов The modeling is based on the wind velocity field forecast (GFS, WRF) and data on the main sources of emissions. Covers very few cities
IQAir Map https://www.iqair.com	Швейцария Switzerland	PM _{2.5}	Набор веществ различается для разных точек	Использует спутниковые данные по PM _{2.5} , данные наземных станций по другим загрязнителям. Охватывает малоразвитые и неблагоприятные зоны Uses satellite data for PM _{2.5} , ground station data for other pollutants. Covers underdeveloped and unfavorable areas

⁹ Федеральная геоинформационная система «Воздух». Дата обращения: 02.04.2023. Доступ по ссылке: <https://air-rf-dev.rusgis.com>

ИНТЕРАКТИВНЫЕ КАРТЫ

В России в 1995 году образована межрегиональная общественная организация содействия развитию рынка геоинформационных технологий и услуг (ГИС-Ассоциация). Являясь негосударственной и некоммерческой общественной организацией, ГИС-Ассоциация объединила в своих рядах специалистов высших учебных заведений, научно-исследовательских, производственных, инженерных, проектно-конструкторских, информационных и других организаций, занятых в области разработки и применения геоинформационных технологий на территории бывшего СССР [46].

Геоинформационный сервис экологического мониторинга окружающей среды и метеорологических данных «Воздух» создан компанией ООО «РусГИС Технологии» (дочерним предприятием ПАО «Ростелеком») ⁹. Доступ к его функционалу имеют только зарегистрированные пользователи. В открытых источниках актуальная информация о метеорологических данных сервиса «Воздух» отсутствует.

В мировой практике разработано и функционирует множество онлайн-сервисов для получения актуальной информации о состоянии воздуха в любой точке мира. Наиболее популярные онлайн-сервисы мониторинга состояния атмосферного воздуха приведены в табл. 3.

Окончание табл. 3 | End of the Table 3

Название, сайт Name, site	Страна Country	Загрязнители Pollutants		Особенности Features
		физические physical	химические chemical	
Национальная гидрометеорологическая служба Республики Казахстан, National Hydrometeorological Service of the Republic of Kazakhstan https://kazhydromet.kz/ru/post/19 http://maps.hydromet.kz http://apps.kazhydromet.kz:3838/app_dem_visual/	Казахстан Kazakhstan	PM _{2,5} PM ₁₀	NO ₂ NO O ₃ SO ₂ CO	Охватывает 45 населенных пунктов Казахстана. Информация обновляется с интервалом в один час (по 84 автоматическим станциям) и три раза в сутки по 56 ручным постам. Частые сбои Covers 45 settlements of Kazakhstan. The information is updated with an interval of one hour (for 84 automatic stations) and three times a day for 56 manual posts. Frequent failures
Nebo.live https://nebo.live	Россия Russia	PM _{2,5} PM ₁₀	NO ₂ O ₃ SO ₂ CO	Открытая платформа для создания независимой системы измерения качества воздуха. Использует только данные наземных станций, подключённых к проекту An open platform for building an independent air quality measurement system. Uses only data from ground stations connected to the project
OpenAQ https://openaq.org/#/map	США, Монголия USA, Mongolia	PM _{2,5} PM ₁₀ BC	NO ₂ O ₃ SO ₂ CO	Проект с открытым исходным кодом. Использует открытые данные наземных станций Open source project. Uses open data from ground stations
PlumeLabs https://air.plumelabs.com/air-quality-map	Франция France	PM _{2,5} PM ₁₀	NO ₂ O ₃	Карта загрязнённости воздуха в реальном времени для каждой улицы более 100 крупнейших городов Европы и США Real-time air pollution map for every street in over 100 major cities in Europe and the USA
SILAM https://silam.fmi.fi	Финляндия Finland	PM _{2,5} PM ₁₀ Dust SOA SIA	NO ₂ NO O ₃ SO ₂ CO	Комплексная модель состава атмосферы от глобального до среднего масштаба. Основана на моделях Эйлера–Лагранжа Global-to-meso-scale dispersion model developed for atmospheric composition, incorporates both Eulerian and Lagrangian transport routines
VentySky https://www.ventusky.com	Чехия Czech	PM _{2,5} PM ₁₀ Dust	NO ₂ O ₃ SO ₂ CO	Погодный сервис реального времени, отображает также аэрополлютанты. Использует комбинацию данных от спутников и наземных станций, модели SILAM, FMI Real-time weather service, also displays air pollutants. Uses a combination of data from satellites and ground stations, SILAM, FMI models
Windy https://www.windy.com	Чехия Czech	PM _{2,5} SOA SIA	NO ₂ O ₃	Погодный сервис реального времени, отображает также аэрополлютанты. Использует модели GFS, ECMWF и ICON Real-time weather service, also displays air pollutants. Uses GFS, ECMWF and ICON models
World's air pollution https://waqi.info https://aqicn.org	Китай China	PM _{2,5} PM ₁₀	NO ₂ O ₃ SO ₂ CO	В режиме реального времени отображает данные более 30 000 станций в 2000 городах по всему миру Displays real-time data from over 30,000 stations in 2,000 cities worldwide

Примечание: BC — углеродные частицы, Dust — пыль, SOA — вторичные органические аэрозоли, SIA — вторичные неорганические аэрозоли.

Note: BC — black carbon, Dust — dust, SOA — secondary organic aerosols, SIA — secondary inorganic aerosols.

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Для прогнозирования качества атмосферного воздуха используются различные подходы и модели. Существует три основных вида моделей для прогнозирования загрязнения воздуха: статистические, интеллектуальные и гибридные [47]. Статистические модели в основном учитывают статистическую взаимосвязь между концентрацией загрязнителей воздуха и историческими данными о различных влияющих факторах и устанавливаются с использованием математико-статистических методов. Среди многочисленных статистических моделей для оценки качества атмосферного воздуха наиболее широко используются модели временных рядов и регрессионные модели. Модели временных рядов включают авторегрессионную модель, модель скользящего среднего, авторегрессионную модель скользящего среднего и интегральную авторегрессионную модель скользящего среднего. Регрессионные модели, применяемые для прогнозирования загрязнения воздуха, включают модель пошаговой регрессии, модель регрессии главных компонент, модель множественной линейной регрессии и др.

Интеллектуальные модели учитывают источники загрязнения (например, промышленные предприятия, транспорт, техногенные аварии, природные источники, такие как лесные пожары и т.д.). В настоящее время для изучения воздействия лесных пожаров, природных и техногенных катастроф, извержений вулканов на состояние атмосферного воздуха применяется пакет компьютерных программ SILAM, созданный Финским метеорологическим институтом [48]. В качестве исходных данных система использует архивные метеорологические базы данных с применением модели Эйлера–Лагранжа для построения расчётной схемы. В настоящее время система SILAM широко применяется для моделирования распространения в атмосфере газовых примесей, пыли, радиоактивных изотопов, взвешенных частиц различного диаметра и природных аллергенов [48].

Предложены также модели для прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха, создаваемого автотранспортом в городской среде с учётом застройки [49].

В то время как прогноз модели качества воздуха предоставляет некоторые концентрации, усреднённые по времени/пространству, наблюдение в любой момент времени в точке мониторинга отражает отдельное событие или конкретную реализацию из совокупности, которая почти всегда будет отличаться от оценки модели, даже если модель и её входные данные были идеальными [50, 51].

Сравнение смоделированных и наблюдаемых концентраций в пространстве и времени указывает на погрешности и ошибки при моделировании абсолютных уровней концентраций загрязняющих веществ на отдельных участках мониторинга [52].

Независимо от того, насколько точна региональная модель оценки качества воздуха, стохастические вариации в атмосфере не могут быть последовательно воспроизведены детерминированными численными моделями. В работе [51] показано, как количественно определить этот невоспроизводимый стохастический компонент, выделяя синоптическое воздействие, заложенное в более чем 30 лет исторических наблюдений, и оценивая эффективность 36-километровой полностью связанной модели WRF-CMAQ при моделировании концентраций озона за 21 год над прилегающей территорией. Проведённый с использованием натуральных данных из США анализ показал, что в среднем неустраняемая ошибка, связанная со стохастическим характером атмосферы, колеблется от ~2 ppb в 50-м процентиле до ~5 ppb в 95-м процентиле [51].

Имеется опыт пространственного моделирования содержания PM_{10} в атмосферном воздухе с использованием данных наблюдений за 2012–2016 гг. в урбанизированном и густонаселённом штате Малайзии Селангоре на основании данных дистанционного зондирования, таких как высота над уровнем моря, уклон, плотность дороги, индекс растительности с поправкой на почву, нормализованный разностный индекс растительности, индекс застройки, температура поверхности земли и скорость ветра. Пространственное моделирование содержания PM_{10} в атмосферном воздухе было выполнено по данным, получаемым от четырёх наземных измерительных станций с использованием алгоритмов Naïve Bayes (NB), Random Forest (RF) и K-Nearest Neighbour (KNN). Точность моделирования оценена авторами как высокая (0,96; 0,98; 0,91 для каждого из методов соответственно) [53].

Несмотря на то, что данные о состоянии атмосферного воздуха, полученные с помощью прогностического моделирования, имеют значительное сходство с данными, полученными на основе натуральных измерений, использование широкой сети станций измерения позволяет получить наиболее точные данные о концентрации загрязнителей атмосферного воздуха в текущий период времени.

ОЦЕНКИ РИСКА ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Различными государствами и международными организациями предложены методики оценки риска влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения. Рекомендуемая ВОЗ методика оценки риска для здоровья от загрязнения воздуха (Air Pollution Health Risk Assessment, AP-HRA) анализирует возможные последствия принимаемых политических мер, влияющих на качество воздуха в различных социально-экономических, экологических и политических условиях. AP-HRA является важным инструментом для обоснования принятия решений государственной политики в сфере

здоровьесбережения населения [54]. Методика предусматривает оценку экспозиции популяции к загрязнителям воздуха, оценку риска для здоровья, количественное выражение неопределённостей генерируемой оценки последствий для здоровья населения.

Методика AP-HRA предназначена для оценки рисков уровней выброса загрязняющих веществ в прошлом, настоящем и будущем на основе прогнозирования изменения уровней выбросов в результате принятых политических решений или других причин изменения качества воздуха [54]. Данная методика оценивает концентрации загрязняющих веществ в воздухе, экспозицию (общее время и количество контактов) исследуемой группы населения и потенциальные риски для здоровья лиц, подвергающихся воздействию загрязнителей атмосферного воздуха.

В России и странах СНГ разработаны собственные инструкции для оценки риска [55], основанные на методологии риск-анализа, созданной в Центре по безопасности химической промышленности (CCPS) США [56]. В соответствии с методологией устанавливаются постоянные источники выбросов вредных веществ в атмосферу с учётом их количества, физических и химических свойств. После определения популяции, которая подвергается экспозиции загрязняющими веществами от определённого источника, и процесса распространения поллютантов (главным образом путём использования математических моделей) проводится установление зависимостей «доза–эффект» с количественной характеристикой эффекта или риска [55].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение атмосферного воздуха остаётся одной из глобальных проблем человечества. Многими государствами реализуется комплекс мероприятий, направленных на усиление контроля за качеством атмосферного воздуха и снижением уровня загрязнения. На законодательном уровне устанавливаются предельно допустимые концентрации различных загрязнителей и время, за которое производится оценка. Увеличивается охват территории, точность оценки текущего и прогнозируемого загрязнения. Этому способствует развитие вычислительной техники, удешевление стоимости датчиков для измерения концентрации различных веществ, растущий запрос общества на качественную окружающую среду. Разработаны и внедрены онлайн-сервисы для наблюдения за качеством атмосферного воздуха. В то же время остаются проблемы в сфере контроля качества атмосферного воздуха, в частности неравные возможности у развитых и развивающихся стран, неравномерное покрытие территории сетью пунктов наблюдения за состоянием атмосферы.

Наибольшие успехи в сфере контроля качества атмосферного воздуха достигнуты в странах Европы, США, Китае, жители которых могут получать актуальную информацию о состоянии атмосферного воздуха в свободном доступе в режиме реального времени. В России, несмотря на проводимую оценку качества атмосферного воздуха, до настоящего времени не существует доступного для населения единого сервиса, позволяющего получить всю необходимую информацию о качестве атмосферного воздуха.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. М.В. Поздняков разработал концепцию и первоначальный дизайн исследования; М.В. Поздняков и С.И. Мазиллов работали над получением, анализом и интерпретацией первичных данных, подготовили первый вариант статьи; С.В. Райкова и Ю.С. Гусев принимали участие в получении и анализе дополнительных данных и анализе полученных результатов; М.В. Поздняков и С.И. Мазиллов выполнили интерпретацию всех собранных и обработанных данных, сформулировали выводы и подготовили окончательный вариант статьи; А.Н. Микеров и Н.Е. Комлева внесли существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. M.V. Pozdnyakov — concept and initial design of the study, M.V. Pozdnyakov and S.I. Mazilov worked on obtaining, analyzing and interpreting primary data, drafted the first version of the manuscript, S.V. Raikova and Yu.S. Gusev took part in obtaining and analyzing additional data and interpreted the results. M.V. Pozdnyakov and S.I. Mazilov performed the interpretation of all collected and processed data, formulated the conclusions and approved the final version of the article. A.N. Mikerov and N.E. Komleva made a significant contribution to the concept and design of the study and reviewing the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept of the study, took part in the research and writing of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. No external funding.

Competing interests. No competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.who.int/ru/> [Internet]. Всемирная организация здравоохранения. Загрязнение атмосферного воздуха. Информационный бюллетень ВОЗ [дата обращения: 31.03.2023]. Доступ по ссылке: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
2. Dominski F.H., Branco J.H., Buonanno G., et al. Effects of air pollution on health: a mapping review of systematic reviews and meta-analyses // *Environ Res.* 2021. Vol. 201. P. 111487. doi: 10.1016/j.envres.2021.111487
3. Чанчаева Е.А., Гвоздарева О.В., Гвоздарев А.Ю. Состояние атмосферного воздуха и здоровье детей в условиях возрастающей транспортной и теплоэнергетической нагрузки // *Экология человека.* 2019. Т. 26, № 11. С. 12–19. doi: 10.33396/1728-0869-2019-11-12-19
4. Всемирная организация здравоохранения. Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц (ТЧ_{2.5} и ТЧ₁₀), озона, двуокси азота, двуокси серы и окиси углерода [интернет]. 2021. Дата обращения: 31.03.2023. Доступ по ссылке: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345334/9789240035409-rus.pdf>
5. Муравьева С.И., Буковский М.И., Прохорова Е.К., и др. Руководство по контролю вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Москва : Химия, 1991. 368 с.
6. <https://www.epa.gov/> [Internet]. United States Environmental Protection Agency. NAAQS Table [дата обращения: 04.04.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
7. <https://environment.ec.europa.eu/> [Internet]. European Commission. Environment [дата обращения: 31.03.2023]. Доступ по ссылке: <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
8. <https://www.eea.europa.eu/> [Internet]. European Environment Agency. Air quality standards [дата обращения: 02.04.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards>
9. Wang Z., Tan Y., Guo M., et al. Prospect of China's ambient air quality standards // *J Environ Sci (China).* 2023. Vol. 123. P. 255–269. doi: 10.1016/j.jes.2022.03.036
10. Gong J., Ding L., Lu Y., et al. Scientometric and multidimensional contents analysis of PM_{2.5} concentration prediction // *Heliyon.* 2023. Vol. 9, N 3. P. e14526. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14526
11. Wang Y., Li J., Jing H., et al. Laboratory evaluation and calibration of three low-cost particle sensors for particulate matter measurement // *Aerosol Science and Technology.* 2015. Vol. 49, N 11. P. 1063–1077. doi: 10.1080/02786826.2015.1100710
12. Rai A.C., Kumar P., Pilla F., et al. End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring // *Sci Total Environ.* 2017. Vol. 607–608. P. 691–705. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.266
13. Koehler K.A., Peters T.M. New methods for personal exposure monitoring for airborne particles // *Curr Environ Health Rep.* 2015. Vol. 2, N 4. P. 399–411. doi: 10.1007/s40572-015-0070-z
14. Thomas A., Gebhart J. Correlations between gravimetry and light scattering photometry for atmospheric aerosols // *Atmospheric Environment.* 1994. Vol. 28, N 5. P. 935–938. doi: 10.1016/1352-2310(94)90251-8
15. Northcross A.L., Edwards R.J., Johnson M.A., et al. A low-cost particle counter as a real-time fine-particle mass monitor // *Environ Sci Process Impacts.* 2013. Vol. 15, N 2. P. 433–439. doi: 10.1039/c2em30568b
16. Sousan S., Koehler K., Thomas G., et al. Inter-comparison of low-cost sensors for measuring the mass concentration of occupational aerosols // *Aerosol Sci Technol.* 2016. Vol. 50, N 5. P. 462–473. doi: 10.1080/02786826.2016.1162901
17. Fine G.F., Cavanagh L.M., Afonja A., Binions R. Metal oxide semiconductor gas sensors in environmental monitoring // *Sensors (Basel).* 2010. Vol. 10, N 6. P. 5469–5502. doi: 10.3390/s100605469
18. Aleixandre M., Gerboles M. Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas // *Chemical Engineering Transactions.* 2012. Vol. 30.
19. Piedrahita R., Xiang Y., Masson N., et al. The next generation of low-cost personal air quality sensors for quantitative exposure monitoring // *Atmospheric Measurement Techniques.* 2014. Vol. 7, N 10. P. 3325–3336. doi: 10.5194/amt-7-3325-2014
20. Stetter J.R., Li J. Amperometric gas sensors — a review // *Chem Rev.* 2008. Vol. 108, N 2. P. 352–366. doi: 10.1021/cr0681039
21. Spinelle L., Gerboles M., Aleixandre M., Bonavitacol F. Evaluation of metal oxides sensors for the monitoring of O₃ in ambient air at ppb level // *Chemical Engineering Transactions.* 2016. Vol. 54. P. 319–324.
22. Karagulian F., Barbieri M., Gerboles M., et al. Review of sensors for air quality monitoring. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2019.
23. Chloe C. Over 6,000 cities now monitor air quality, WHO reveals // *Air Quality News.* 2022. Режим доступа: <https://airqualitynews.com/2022/04/04/over-6000-cities-now-monitor-air-quality-who-reveals/> Дата обращения: 02.04.2023.
24. <https://aqicn.org/> [Internet]. World Air Quality Index. Worldwide Air Quality Monitoring Data Coverage [дата обращения: 02.04.2023]. Доступ по ссылке: <https://aqicn.org/sources/>
25. Lin C., Li Y., Yuan Z., et al. Using satellite remote sensing data to estimate the high-resolution distribution of ground-level PM_{2.5} // *Remote Sensing of Environment.* 2015. Vol. 156. P. 117–128. doi: 10.1016/j.rse.2014.09.015
26. Hua Z., Sun W., Yang G., Du Q. A full-coverage daily average PM_{2.5} retrieval method with two-stage IVW fused MODIS C6 AOD and two-stage GAM model // *Remote Sensing.* 2019. Vol. 11, N 13. P. 1558. doi: 10.3390/rs11131558
27. Zhao R., Gu X., Xue B., et al. Short period PM_{2.5} prediction based on multivariate linear regression model // *PLoS One.* 2018. Vol. 13, N 7. P. e0201011. doi: 10.1371/journal.pone.0201011
28. Li T., Guo Y., Liu Y., et al. Estimating mortality burden attributable to short-term PM_{2.5} exposure: a national observational study in China // *Environ Int.* 2019. Vol. 125. P. 245–251. doi: 10.1016/j.envint.2019.01.073

29. Ford B., Heald C.L. Exploring the uncertainty associated with satellite-based estimates of premature mortality due to exposure to fine particulate matter // *Atmos Chem Phys*. 2016. Vol. 16, N 5. P. 3499–3523. doi: 10.5194/acp-16-3499-2016
30. van Donkelaar A., Martin R.V., Levy R.C., et al. Satellite-based estimates of ground-level fine particulate matter during extreme events: a case study of the Moscow fires in 2010 // *Atmospheric Environment*. 2011. Vol. 45, N 34. P. 6225–6232. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.07.068
31. Holben B.N., Kim J., Sano I., et al. An overview of mesoscale aerosol processes, comparisons, and validation studies from DRAGON networks // *Atmos Chem Phys*. 2018. Vol. 18, N 2. P. 655–671. doi: 10.5194/acp-18-655-2018
32. Sorek-Hamer M., Chatfield R., Liu Y. Review: strategies for using satellite-based products in modeling PM_{2.5} and short-term pollution episodes // *Environ Int*. 2020. Vol. 144. P. 106057. doi: 10.1016/j.envint.2020.106057
33. <https://ecologyofrussia.ru/> [интернет]. Федеральный проект «Чистый воздух» [дата обращения: 02.04.2023]. Доступ по ссылке: <https://ecologyofrussia.ru/proekt/chistyj-vozduh/>
34. <https://www.feerc.ru/> [интернет]. Федеральный проект «Чистый воздух». Национальный проект «Экология» [дата обращения: 02.04.2023]. Доступ по ссылке: <http://www.feerc.ru/uisem/portal/>
35. <https://www.meteorf.gov.ru/> [интернет]. Структура Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России [дата обращения: 03.05.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.meteorf.gov.ru/about/structure/local/>
36. <https://www.epa.gov/> [Internet]. EPA AQS (Air Quality System) [дата обращения: 02.04.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/air-data-basic-information>
37. Byun D., Schere K. Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models-3 community multiscale air quality (CMAQ) modeling system // *Appl Mech Rev*. 2006. Vol. 59, N 2. P. 51–77. doi: 10.1115/1.2128636
38. <https://www.eea.europa.eu/> [интернет]. Европейское агентство по окружающей среде [дата обращения: 02.05.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.eea.europa.eu/en>
39. Liu X., Hadiatullah H., Tai P., et al. Air pollution in Germany: spatio-temporal variations and their driving factors based on continuous data from 2008 to 2018 // *Environ Pollut*. 2021. Vol. 276. P. 116732. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116732
40. <https://uk-air.defra.gov.uk/> [Internet]. UK AIR. Air Information Resource [дата обращения: 02.04.2023]. Доступ по ссылке: <https://uk-air.defra.gov.uk/networks/network-info>
41. Rodrigues V., Gama C., Ascenso A., et al. Assessing air pollution in European cities to support a citizen centered approach to air quality management // *Sci Total Environ*. 2021. Vol. 799. P. 149311. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149311
42. Kumar A., Gupta I., Brandt J. et al. Air quality mapping using GIS and economic evaluation of health impact for Mumbai City, India // *J Air Waste Manag Assoc*. 2016. Vol. 66, N 5. P. 470–481. doi: 10.1080/10962247.2016.1143887
43. Zhang F., Shi Y., Fang D., et al. Monitoring history and change trends of ambient air quality in China during the past four decades // *J Environ Manage*. 2020. Vol. 260. P. 110031. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.110031
44. Maji K.J., Dikshit A.K., Arora M., Deshpande A. Estimating premature mortality attributable to PM_{2.5} exposure and benefit of Air Pollution Control Policies in China for 2020 // *Sci Total Environ*. 2018. Vol. 612. P. 683e693. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.254
45. Li X., Hussain S.A., Sobri S., Md Said M.S. Overviewing the air quality models on air pollution in Sichuan Basin, China // *Chemosphere*. 2021. Vol. 271. P. 129502. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129502
46. <http://www.gisa.ru/> [интернет]. ГИС-Ассоциация [дата обращения: 02.04.2023]. Доступ по ссылке: <http://www.gisa.ru/assoc.html>
47. Liu H., Yin S., Chen C., Duan Z. Data multi-scale decomposition strategies for air pollution forecasting: a comprehensive review // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 277. P. 124023. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124023
48. Белихов А.Б., Леготин Д.Л., Сухов А.К. Моделирование распространения атмосферных загрязнений с помощью системы SILAM // *Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова*. 2014. №1. С. 7–11.
49. Беляев Н.Н. Численные модели для прогноза загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // *Наука та прогрес транспорту*. 2016. № 6. С. 25–32.
50. Rao S., Klimont Z., Smith S.J., et al. Future air pollution in the shared socioeconomic pathways // *Global Environmental Change*. 2017. Vol. 42. P. 346–358. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.012
51. Rao S.T., Luo H., Astitha M., et al. On the limit to the accuracy of regional-scale air quality models // *Atmos Chem Phys*. 2020. Vol. 20, N 3. P. 1627–1639. doi: 10.5194/acp-20-1627-2020
52. Porter P.S., Rao S.T., Hogrefe C., et al. Methods for reducing biases and errors in regional photochemical model outputs for use in emission reduction and exposure assessments // *Atmospheric Environment*. 2015. Vol. 112. P.178–188. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.04.039
53. Tella A., Balogun A.L. GIS-based air quality modelling: spatial prediction of PM10 for Selangor State, Malaysia using machine learning algorithms // *Environ Sci Pollut Res*. 2022. Vol. 29, N 57. P. 86109–86125. doi: 10.1007/s11356-021-16150-0
54. Оценка риска для здоровья от загрязнения воздуха — общие принципы. Копенгаген : Европейское региональное бюро ВОЗ, 2016.
55. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе: учебное пособие для вузов. Москва : Изд-во МГУ. 2004. 124 с.
56. Меньшиков В.В., Швыряев А.А. Опасные химические процессы и техногенный риск: учебное пособие. Москва : Изд-во МГУ, 2003.

REFERENCES

1. <https://www.who.int/ru/> [Internet]. Ambient (outdoor) air pollution. WHO Fact sheet [cited 2023 Mar 31]. Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (In Russ).

2. Dominski FH, Branco JH, Buonanno G, et al. Effects of air pollution on health: a mapping review of systematic reviews and meta-analyses. *Environ Res.* 2021;201:111487. doi: 10.1016/j.envres.2021.111487
3. Chanchaeva EA, Gvozdzareva OV, Gvozdzarev AYU. Air quality and children's health: the role of increasing transport-related and thermal air pollution. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2019;26(11):12–19. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2019-11-12-19
4. World Health Organization. *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide* [Internet]. 2021 [cited 2023 Mar 31]. Available from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf> (In Russ).
5. Murav'eva SI, Bukovskij MI, Prohorova EK, i dr. *Rukovodstvo po kontrolju vrednyh veshhestv v vozduhe rabochej zony*. Moscow: Himija; 1991. 368 p. (In Russ).
6. <https://www.epa.gov/> [Internet]. United States Environmental Protection Agency. *NAAQS Table* [cited: 04.04.2023]. Available from: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
7. <https://environment.ec.europa.eu/> [Internet]. European Commission. Environment [cited 2023 Mar 31]. Available from: <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
8. <https://www.eea.europa.eu/> [Internet]. European Environment Agency. Air quality standards [cited 2023 Apr 02]. Available from: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards>
9. Wang Z, Tan Y, Guo M, et al. Prospect of China's ambient air quality standards. *J Environ Sci (China)*. 2023;123:255–269. doi: 10.1016/j.jes.2022.03.036
10. Gong J, Ding L, Lu Y, et al. Scientometric and multidimensional contents analysis of PM_{2.5} concentration prediction. *Heliyon*. 2023;9(3):e14526. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14526
11. Wang Y, Li J, Jing H, et al. Laboratory evaluation and calibration of three low-cost particle sensors for particulate matter measurement. *Aerosol Science and Technology*. 2015;49(11):1063–1077. doi: 10.1080/02786826.2015.1100710
12. Rai AC, Kumar P, Pilla F, et al. End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. *Sci Total Environ*. 2017;607–608:691–705. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.266
13. Koehler KA, Peters TM. New methods for personal exposure monitoring for airborne particles. *Curr Environ Health Rep*. 2015;2(4):399–411. doi: 10.1007/s40572-015-0070-z
14. Thomas A, Gebhart J. Correlations between gravimetry and light scattering photometry for atmospheric aerosols. *Atmospheric Environment*. 1994;28(5):935–938. doi: 10.1016/1352-2310(94)90251-8
15. Northcross AL, Edwards RJ, Johnson MA, et al. A low-cost particle counter as a real-time fine-particle mass monitor. *Environ Sci Process Impacts*. 2013;15(2):433–439. doi: 10.1039/c2em30568b
16. Sousan S, Koehler K, Thomas G, et al. Inter-comparison of low-cost sensors for measuring the mass concentration of occupational aerosols. *Aerosol Sci Technol*. 2016;50(5):462–473. doi: 10.1080/02786826.2016.1162901
17. Fine GF, Cavanagh LM, Afonja A, Binions R. Metal oxide semiconductor gas sensors in environmental monitoring. *Sensors (Basel)*. 2010;10(6):5469–5502. doi: 10.3390/s100605469
18. Aleixandre M, Gerboles M. Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas. *Chemical Engineering Transactions*. 2012;30.
19. Piedrahita R, Xiang Y, Masson N, et al. The next generation of low-cost personal air quality sensors for quantitative exposure monitoring. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2014;7(10):3325–3336. doi: 10.5194/amt-7-3325-2014
20. Stetter JR, Li J. Amperometric gas sensors — a review. *Chem Rev*. 2008;108(2):352–366. doi: 10.1021/cr0681039
21. Spinelle L, Gerboles M, Aleixandre M, Bonavitacol F. Evaluation of metal oxides sensors for the monitoring of O₃ in ambient air at ppb level. *Chemical Engineering Transactions*. 2016;54: 319–324.
22. Karagulian F, Gerboles M, Barbieri M, et al. *Review of sensors for air quality monitoring*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2019.
23. Chloe C. Over 6,000 cities now monitor air quality, WHO reveals. *Air Quality News*. 2022. Available from: <https://airqualitynews.com/2022/04/04/over-6000-cities-now-monitor-air-quality-who-reveals/>
24. <https://aqicn.org/> [Internet]. World Air Quality Index. Worldwide Air Quality Monitoring Data Coverage [cited 2023 Apr 02]. Available from: <https://aqicn.org/sources/>
25. Lin C, Li Y, Yuan Z, et al. Using satellite remote sensing data to estimate the high-resolution distribution of ground-level PM_{2.5}. *Remote Sensing of Environment*. 2015;156:117–128. doi: 10.1016/j.rse.2014.09.015
26. Hua Z, Sun W, Yang G, Du Q. A full-coverage daily average PM_{2.5} retrieval method with two-stage IVW fused MODIS C6 AOD and two-stage GAM model. *Remote Sensing*. 2019;11(13):1558. doi: 10.3390/rs11131558
27. Zhao R, Gu X, Xue B, et al. Short period PM_{2.5} prediction based on multivariate linear regression model. *PLoS One*. 2018;13(7):e0201011. doi: 10.1371/journal.pone.0201011
28. Li T, Guo Y, Liu Y, et al. Estimating mortality burden attributable to short-term PM_{2.5} exposure: a national observational study in China. *Environ Int*. 2019;125:245–251. doi: 10.1016/j.envint.2019.01.073
29. Ford B, Heald CL. Exploring the uncertainty associated with satellite-based estimates of premature mortality due to exposure to fine particulate matter. *Atmos Chem Phys*. 2016;16(5):3499–3523. doi: 10.5194/acp-16-3499-2016
30. van Donkelaar A, Martin RV, Levy RC, et al. Satellite-based estimates of ground-level fine particulate matter during extreme events: a case study of the Moscow fires in 2010. *Atmospheric Environment*. 2011;45(34):6225–6232. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.07.068
31. Holben BN, Kim J, Sano I, et al. An overview of mesoscale aerosol processes, comparisons, and validation studies from DRAGON networks. *Atmos Chem Phys*. 2018;18(2):655–671. doi: 10.5194/acp-18-655-2018
32. Sorek-Hamer M, Chatfield R, Liu Y. Review: strategies for using satellite-based products in modeling PM_{2.5} and short-term pollution episodes. *Environ Int*. 2020;144:106057. doi: 10.1016/j.envint.2020.106057

33. <https://ecologyofrussia.ru/> [Internet]. Federal project "Chisty vozdukh" [cited 2023 Apr 02]. Available from: <https://ecologyofrussia.ru/proekt/chisty-vozduh> (In Russ).
34. <https://www.feerc.ru/> [Internet]. Nacional'nyj proekt "Jekologija". Federal project "Chisty vozdukh" [cited 2023 Apr 02]. Available from: <http://www.feerc.ru/uisem/portal/> (In Russ).
35. <https://www.meteorf.gov.ru/> [Internet]. Structure of Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia (Roshydromet) [cited 2023 May 03]. Available from: <https://www.meteorf.gov.ru/about/structure/local/> (In Russ).
36. <https://www.epa.gov/> [Internet]. EPA AQS (Air Quality System) [cited 2023 Apr 02]. Available from: <https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data/air-data-basic-information>
37. Byun D, Schere K. Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models-3 community multiscale air quality (CMAQ) modeling system. *Appl Mech Rev.* 2006;59(2):51–77. doi: 10.1115/1.2128636
38. <https://www.eea.europa.eu/> [Internet]. European Environmental Agency [cited 2023 May 02]. Available from: <https://www.eea.europa.eu/en> (In Russ).
39. Liu X, Hadiatullah H, Tai P, et al. Air pollution in Germany: spatio-temporal variations and their driving factors based on continuous data from 2008 to 2018. *Environ Pollut.* 2021;276:116732. doi: 10.1016/j.envpol.2021.116732
40. <https://uk-air.defra.gov.uk/> [Internet]. UK AIR. Air Information Resource [cited 2023 Apr 02]. Available from: <https://uk-air.defra.gov.uk/networks/network-info>
41. Rodrigues V, Gama C, Ascenso A, et al. Assessing air pollution in European cities to support a citizen centered approach to air quality management. *Sci Total Environ.* 2021;799:149311. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149311
42. Kumar A, Gupta I, Brandt J, et al. Air quality mapping using GIS and economic evaluation of health impact for Mumbai City, India. *J Air Waste Manag Assoc.* 2016;66(5):470–481. doi: 10.1080/10962247.2016.1143887
43. Zhang F, Shi Y, Fang D, et al. Monitoring history and change trends of ambient air quality in China during the past four decades. *J Environ Manage.* 2020;260:110031. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.110031
44. Maji KJ, Dikshit AK, Arora M, Deshpande A. Estimating premature mortality attributable to PM_{2.5} exposure and benefit of Air Pollution Control Policies in China for 2020. *Sci Total Environ.* 2018;612:683e693. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.254
45. Li X, Hussain SA, Sobri S, Md Said MS. Overviewing the air quality models on air pollution in Sichuan Basin, China. *Chemosphere.* 2021;271:129502. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129502
46. <http://www.gisa.ru/> [Internet]. GIS-Association [cited 2023 Apr 02]. Available from: <http://www.gisa.ru/assoc.html> (In Russ).
47. Liu H, Yin S, Chen C, Duan Z. Data multi-scale decomposition strategies for air pollution forecasting: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production.* 2020;277:124023. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124023
48. Belikhov AB, Legotin DL, Sukhov AK. Modelirovaniye rasprostraneniya atmosferykh zagryazneniy s pomoshch'yu sistemy SILAM. *Vestnik KGU im. N.A. Nekrasova.* 2014;1:7–11. (In Russ).
49. Beljaev NN. Chislennyye modeli dlja prognoza zagryazneniya atmosfernogo vozduha vybrosami avtotransporta. *Nauka ta progres transportu.* 2016;(6):25–32. (In Russ).
50. Rao S, Klimont Z, Smith SJ, et al. Future air pollution in the shared socioeconomic pathways. *Global Environmental Change.* 2017;42:346–358. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.012
51. Rao ST, Luo H, Astitha M, et al. On the Limit to the accuracy of regional-scale air quality models. *Atmos Chem Phys.* 2020;20(3):1627–1639. doi: 10.5194/acp-20-1627-2020
52. Porter PS, Rao ST, Hogrefe C, et al. Methods for reducing biases and errors in regional photochemical model outputs for use in emission reduction and exposure assessments. *Atmospheric Environment.* 2015;112:178–188. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.04.039
53. Tella A, Balogun AL. GIS-based air quality modelling: spatial prediction of PM10 for Selangor State, Malaysia using machine learning algorithms. *Environ Sci Pollut Res.* 2022;29(57):86109–86125. doi: 10.1007/s11356-021-16150-0
54. *Otsenka riska dlya zdorov'ya ot zagryazneniya vozdukh — obshchiye printsipy.* Kopenhagen: Yevropeyskoye regional'noye byuro VOZ; 2016. (In Russ).
55. Shvyryayev AA, Men'shikov VV. *Otsenka riska vozdeystviya zagryazneniya atmosfery v issleduyemom regione: Uchebnoye posobiye dlya vuzov.* Moscow: Izdatel'stvo MGU; 2004. 124p. (In Russ).
56. Men'shikov VV, Shvyryayev AA. *Opasnyye khimicheskiye protsessy i tekhnogenny risk: uchebnoye posobiye.* Moscow: Izdatel'stvo MGU; 2003. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **Поздняков Михаил Валерьевич**, к.ф.-м.н.;
адрес: Российская Федерация, 410022, Саратов, ул. Заречная,
здание 1А, строение 1;
ORCID: 0000-0002-2067-3830;
eLibrary SPIN: 6726-4542;
e-mail: mpozdneyakov@yandex.ru

Мазилев Святослав Игоревич, к.б.н.;
ORCID: 0000-0002-8220-145X;
eLibrary SPIN: 2048-0643;
e-mail: smazilov@ya.ru

Райкова Светлана Владимировна, к.м.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-5749-2382;
eLibrary SPIN: 1286-5149;
e-mail: matiz853@yandex.ru

Гусев Юрий Сергеевич, к.б.н.;
ORCID: 0000-0001-7379-484X;
eLibrary SPIN: 1776-5237;
e-mail: yuran1989@yandex.ru

Комлева Наталия Евгеньевна, д.м.н.;
ORCID: 0000-0003-4099-9368;
eLibrary SPIN: 7145-3073;
e-mail: nekomleva@yandex.ru

Микеров Анатолий Николаевич, д.б.н.;
ORCID: 0000-0002-0670-7918;
eLibrary SPIN: 1456-5471;
e-mail: mail@smnccg.ru

AUTHORS' INFO

* **Michail V. Pozdneyakov**, Cand. Sci. (Phys. and Math.);
address: building 1A, edifice 1 Zarechnaya street, 410022 Saratov,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-2067-3830;
eLibrary SPIN: 6726-4542;
e-mail: mpozdneyakov@yandex.ru

Svyatoslav I. Mazilov, Cand. Sci. (Biol.);
ORCID: 0000-0002-8220-145X;
eLibrary SPIN: 2048-0643;
e-mail: smazilov@ya.ru

Svetlana V. Raikova, MD, Cand. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: 0000-0001-5749-2382;
eLibrary SPIN: 1286-5149;
e-mail: matiz853@yandex.ru

Yury S. Gusev, Cand. Sci. (Biol.);
ORCID: 0000-0001-7379-484X;
eLibrary SPIN: 1776-5237;
e-mail: yuran1989@yandex.ru

Natalia E. Komleva, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0003-4099-9368;
eLibrary SPIN: 7145-3073;
e-mail: nekomleva@yandex.ru

Anatoly N. Mikerov, Dr. Sci. (Biol.);
ORCID: 0000-0002-0670-7918;
eLibrary SPIN: 1456-5471;
e-mail: mail@smnccg.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321267>

Корректирующее влияние дигидрокверцетина на состояние окислительного метаболизма у юношей-спортсменов зимних видов спорта в условиях северного региона

В.И. Корчин, Е.П. Федорова, Т.Я. Корчина, А.В. Нехорошева, С.В. Нехорошев

Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель исследования. Оценить корректирующее влияние дигидрокверцетина на показатели окислительного метаболизма у юношей-спортсменов, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО).

Материал и методы. Изучены показатели окислительного метаболизма у 56 юношей-студентов (средний возраст — 19,30±0,51 года) Югорского колледжа-интерната олимпийского резерва, занимающихся зимними видами спорта (лыжные гонки, биатлон), до и после приёма антиоксиданта растительного происхождения биофлавоноида дигидрокверцетина байкальского (ДГК). В течение 60 дней все юноши получали по 120 мг ДГК ежедневно. В крови у юношей определяли продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ): гидроперекиси липидов (ГПл) и реагирующие с 2-тио-барбитуровой кислотой вещества (ВР-ТБК). Показатели антиоксидантной системы защиты организма (АОЗ) определяли по общей антиокислительной активности (ОАА) и тиоловому статусу (ТС). Коэффициент окислительного стресса (КОС) рассчитывали по формуле: $КОС = ГПл \times ВР-ТБК / ОАА \times ТС$.

Результаты. Средние величины ПОЛ (ГПл и ВР-ТБК) у спортсменов ХМАО превышали верхний предел оптимальных значений, а параметры АОЗ (ОАА и ТС) находились в диапазоне физиологически оптимальных величин, но ближе к нижней границе. Установлено возрастание КОС у спортсменов, почти в 3,5 раза превышающее максимально допустимое значение. Повышенные показатели ГПл были зарегистрированы у четвертой части обследованных лиц, а ВР-ТБК — более чем у 30% в сочетании с пониженными показателями АОЗ относительно физиологически оптимальных значений у трети юношей-спортсменов северного региона. Важно отметить превышение параметров КОС у 70,4% лыжников и биатлонистов ХМАО.

После двухмесячного ежедневного приёма ДГК установлена нормализация показателей окислительного метаболизма у обследованных лиц: все его параметры пришли в соответствие с физиологически оптимальными величинами, кроме КОС. Отмечено уменьшение первичных (ГПл — в 1,15 раза) и вторичных (ВР-ТБК, $p=0,046$) показателей ПОЛ на фоне статистически значимого увеличения параметров АОЗ: ОАА ($p=0,022$) и ТС ($p=0,049$). В то же время значение КОС, статистически значимо уменьшившееся ($p < 0,001$) в 2,3 раза в сопоставлении с величиной до коррекции, всё-таки осталось выше верхней границы физиологической нормы.

Заключение. Выявленная оптимизация показателей окислительного метаболизма у юношей-спортсменов зимних видов спорта после двухмесячного ежедневного приёма мощного антиоксиданта ДГК привела к нормализации показателей прооксидантно-антиоксидантного равновесия, улучшению общего самочувствия, скорейшему восстановлению после интенсивных физических нагрузок. Данный препарат может применяться для профилактики значительного числа неинфекционных заболеваний в будущем.

Ключевые слова: северный регион; юноши-спортсмены; окислительно-восстановительный метаболизм; дигидрокверцетин.

Как цитировать:

Корчин В.И., Федорова Е.П., Корчина Т.Я., Нехорошева А.В., Нехорошев С.В. Корректирующее влияние дигидрокверцетина на состояние окислительного метаболизма у юношей-спортсменов зимних видов спорта в условиях северного региона // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 341–352. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321267>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321267>

Effect of dihydroquercetin on oxidative metabolism in young athletes engaged in winter sports in a northern region

Vladimir I. Korchin, Elena P. Fedorova, Tat'jana Ya. Korchina, Aleksandra V. Nehorosheva, Sergej V. Nehoroshev

Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: To study the effect of dihydroquercetin on the indicators of oxidative metabolism in young athletes engaged in the winter sports in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug (KhMAO).

MATERIAL AND METHODS: The indicators of oxidative metabolism were studied in a group of 56 male students (mean age 19.30 ± 0.51 years) from the Khanty-Mansiysk boarding school of the Olympic reserve. These students were actively involved in winter sports such as cross-country skiing and biathlon. To assess the impact of the plant-derived antioxidant bioflavonoid Baikal dihydroquercetin (DHQ), the participants were administered a daily dose of 120 mg of DHQ for a period of 60 days. Measurements were taken before and after the exposure. Blood lipid peroxidation (LPO) products were studied, namely, lipid hydroperoxides (LHP) and products that react with 2-thiobarbituric acid products (PR-TBA). Additionally, we examined the indicators of the body's antioxidant defense system (ADS) through the assessment of total antioxidant activity (TAA) and thiol status (TS). To quantify the overall oxidative stress experienced by the participants, we calculated the oxidative stress coefficient (OSC) using the formula: $OSC = LHP \times PR-TBA / TAA \times TS$.

RESULTS: The average levels of LPO values (HPL and PR-TBA) among KhMAO athletes have surpassed the upper limit of optimal values. On the other hand, the ADS parameters (TAA and TS) fall within the range of physiologically optimal values, albeit closer to the lower limit. Notably, athletes have exhibited an OSC increase that is nearly 3.5 times higher than the maximum allowable value. A quarter of the individuals examined displayed elevated HPL values, while more than 30% showed increased PR-TBA levels. A third of male athletes exhibited reduced ADS values compared to the physiologically optimal range. In total, 70.4% of skiers and biathletes in KhMAO have exceeded the OSC parameters. After two months of daily intake of 120 mg DHQ, the normalization of indicators of oxidative metabolism was observed. All parameters aligned with physiologically optimal values, except for OSC. We found a decrease in primary (LHP, 1.15 times) and secondary (PR-TBA, $p=0.046$) LPO indicators parallel to a significant increase in ADS indicators, specifically TAA ($p=0.022$) and TS ($p=0.049$). Conversely, there was a significant increase in ADS indicators, specifically TAA ($p=0.022$) and TS ($p=0.049$).

Despite these positive changes, the OSC value, although significantly reduced ($p < 0.001$) by 2.3 times compared to the initial value, remained above the upper limit of the physiological norm.

CONCLUSION: The study demonstrated that young athletes engaged in winter sports experienced improved indicators of oxidative metabolism after a consistent two-month intake of the potent antioxidant DHQ. This led to the restoration of a balanced prooxidant-antioxidant state, enhanced overall well-being, and expedited recovery following intense physical exertion. Furthermore, our results may suggest that DHQ may contribute to prevention of non-communicable diseases in the future.

Keywords: North; young athletes; redox metabolism; dihydroquercetin.

To cite this article:

Korchin VI, Fedorova EP, Korchina TYa, Nehorosheva AV, Nehoroshev SV. Effect of dihydroquercetin on oxidative metabolism in young athletes engaged in winter sports in a northern region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):341–352. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321267>

Received: 11.03.2023

Accepted: 27.06.2023

Published online: 05.09.2023

ОБОСНОВАНИЕ

На современном этапе первостепенной задачей прогрессивного развития физической подготовленности спортсменов является увеличение объёма и интенсивности физических нагрузок как самый распространённый путь совершенствования их функциональных ресурсов [1, 2]. Установлена уникальная способность скелетной мускулатуры значительно увеличивать расходование кислорода во время сокращения мышц, что закономерно ведёт к нарастанию интенсивности процессов свободно-радикального окисления, иницированию адаптивных и репаративных процессов, но в ряде случаев — и к формированию дезадаптивных реакций и даже заболеваний [3, 4]. При этом для многих заболеваний доказано нарушение прооксидантно-антиоксидантного равновесия с последующим развитием окислительного стресса [5–9].

Несомненно, что окислительные процессы, протекающие с участием кислорода, являются важнейшим источником энергии для огромного большинства организмов животного мира, включая человека. Примерно 95% поступившего с воздухом кислорода в организме человека, соединяясь с водородом, преобразовывается в воду. Остальные 5% превращаются в свободные радикалы: супероксид, перекись водорода и гидроксильный радикал.

Реактивные формы кислорода — это молекулы, которые имеют непарный электрон на поверхностной оболочке и обладают высоким реакционным потенциалом к повреждению биологических мембран клеток [10].

Несмотря на то, что образование свободных радикалов кислорода является важным защитным механизмом, лежащим в основе неспецифической формы иммунитета, вместе с тем на окислительном стрессе базируется патогенез более 200 заболеваний и патологических состояний. Исследованиями установлено неблагоприятное влияние интенсивных физических нагрузок на организм человека, в результате которых образуется избыточное количество свободных радикалов, способных привести к нарастанию окислительного стресса [11–13].

Нужно заметить, что любая физическая нагрузка приводит к кратному росту потребления кислорода организмом человека. Объём потребления зависит от её напряженности и продолжительности и сочетается с интенсификацией развития окислительных процессов в организме. Увеличение количества продуктов свободно-радикального окисления при интенсивной нагрузке мышц является свидетельством торможения функциональной активности системы антиоксидантной защиты организма (АОЗ), что подтверждено многочисленными исследованиями [1, 2, 11–16]. Подобные исследования необходимы в силу того, что проблема повышения трудоспособности и устойчивости к высоким физическим нагрузкам актуальна не только для спортсменов, но и для трудящихся, выполнение которыми работ связано с интенсивной мышечной деятельностью.

Наиболее ранними диагностическими маркерами окислительного стресса являются изменения показателей антиоксидантного статуса крови [17, 18]. В адекватном состоянии окислительный метаболизм характеризует сбалансированность двух антагонистичных составляющих: показателей перекисного окисления липидов (ПОЛ) и активности АОЗ организма, что способно удерживать оксидацию на достаточно низком уровне и препятствовать манифестации процессов ПОЛ [19].

Выполнение любой интенсивной работы, в том числе и спортивной деятельности, сопровождается повышением скорости потребления кислорода и активизацией процессов ПОЛ, обусловленной перегруженностью организма спортсмена кислородом [20].

Большое число исследований посвящено изучению механизмов физиологической адаптации спортсменов к постоянно меняющимся в плане интенсивности и объёма физических нагрузок тренировкам. Изменчивый характер снабжения организма кислородом с периодами гипоксии и гипероксии, временами максимально допустимый уровень физических нагрузок вызывают мощную ответную реакцию в виде активации процессов ПОЛ [21–23].

Важно отметить факт увеличения устойчивости организма к окислительному стрессу за счёт повышения функциональной мощности системы транспортировки кислорода и формирования адаптивной перестройки, направленной на сбалансированность окислительно-восстановительного гомеостаза. Контролирует содержание свободных радикалов система АОЗ, регулирующая уравновешенность динамического состояния окислительного метаболизма. Она также обеспечивает активизацию физиолого-биохимических механизмов предотвращения чрезмерного накопления активных форм кислорода [24]. Необходимо отметить, что при перетренировках, сопровождающихся высоким уровнем физических нагрузок, АОЗ не способна справиться с увеличенным объёмом свободных радикалов кислорода, в силу чего спортсмен не может полностью восстановить свой физический потенциал перед решающими соревнованиями, что требует дополнительного приема антиоксидантов.

В последние десятилетия применение пищевых антиоксидантов в спорте широко исследовалось [25–27]. Доказано, что для повышения резервов АОЗ, усиления физической работоспособности, профилактики раннего развития утомления и форсирования восстановительного процесса необходим дополнительный приём антиоксидантных препаратов [28]. Среди множества антиоксидантов, которые использовали в спортивной медицине, лучшие результаты были получены после профилактического приёма спортсменами дигидрохверцетина (ДГК) с целью снижения риска развития окислительного стресса и стабилизации окислительного метаболизма [29, 30]. Принимая во внимание эти сведения и с учётом отсутствия подобных исследований в северных регионах России, мы выбрали ДГК в качестве препарата для метаболической коррекции

прооксидантно-антиоксидантного состояния у юношей-спортсменов, проживающих и тренирующихся в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО).

Дигидрокверцетин (витамин Р, биофлавоноид) содержится в оболочке большинства овощей и фруктов, репчатом луке, расторопше, коре и древесине кедра и лиственницы. Этот флавоноид является антиоксидантом прямого действия, нейтрализующим радикальные соединения путём их регенерации и разрыва цепей окисления. Кроме того, ДГК активизирует ферменты АОЗ супероксиддисмутазу и каталазу, восстанавливает антирадикальную активность сульфгидрильных соединений, витаминов С и Е, обладает способностью связывать металлы с переменной валентностью (Fe и др.) [31, 32].

Экспериментально доказана более высокая антиоксидантная активность ДГК по сравнению с витаминами-антиоксидантами (А, Е, С, D) [33].

Наряду с мощнейшей антирадикальной активностью этот флавоноид обладает кардиопротекторными, иммуномодулирующими, противовоспалительными, противовирусными, антиканцерогенными, противодиабетическими и другими свойствами [34–36].

Установлена интенсификация окислительного повреждения биологических структур при условии значительного уменьшения резервов антиоксидантов в организме человека [24, 37]. В то же время доказан положительный эффект использования антиоксидантов для защиты организма от разрушительного воздействия свободных радикалов, обусловленного интенсивными физическими нагрузками [28].

Цель исследования. Оценить корректирующее влияние дигидрокверцетина на показатели окислительно-метаболизма у юношей-спортсменов, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании участвовали 56 юношей, постоянно проживающих в северном регионе (ХМАО), являющихся студентами колледжа-интерната олимпийского резерва с направлением подготовки «биатлон» и «лыжные гонки» (средний возраст — $19,30 \pm 0,51$ года). Настоящее исследование выполнено с соблюдением принципов биоэтической этики после получения информированного согласия от каждого обследуемого лица.

Критерии включения: мужской пол, возраст 18–20 лет, проживание на Севере более 5 лет, высокий уровень физической активности (более 20 ч в неделю), отсутствие сопутствующих заболеваний, наличие добровольного согласия на участие в исследовании.

Критерии исключения: несоответствие гендерной принадлежности и возрастным критериям, проживание на Севере менее 5 лет, наличие сопутствующих заболеваний, отсутствие добровольного информированного согласия.

В сыворотке крови у юношей-спортсменов изучали продукты ПОЛ: гидроперекиси липидов (ГПл) и вещества, реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой (ВР-ТБК), с применением тест-наборов фирмы ВСМ Diagnostics (Германия) и фирмы «АГАТ» (Россия) соответственно. Состояние системы АОЗ оценивали по общей антиокислительной активности (ОАА) и тиоловому статусу (ТС) с применением коммерческих наборов Cayman Chemical (США) и Immundiagnostik AG (Германия) на автоматических биохимических анализаторах AU 680 (Beckman Coulter, США) и Konelab Prime 60i (KONELAB/Thermo Scientific, Финляндия). Коэффициент окислительного стресса (КОС) рассчитывали согласно формуле $КОС = ГПл \times ВР-ТБК / ОАА \times ТС$.

Коррекцию метаболического статуса у всех юношей-спортсменов ХМАО проводили с использованием антиоксидантного препарата дигидрокверцетина байкальского (свидетельство гос. регистрации № RU.77.99.88.003.E.002 700.06.17, ТУ 10.89.19-001-168222879-2017), производитель — ООО «КАХОР-ПРОДУКТ» (Россия), в дозе 120 мг/сут в течение 60 дней.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программ Statistica 13.0 и Microsoft Excel. При помощи критерия Шапиро–Уилка выявлено параметрическое распределение цифровых значений: высчитывали среднее арифметическое значение (M), среднеквадратичное отклонение (σ), минимальное (min) и максимальное (max) значения. Статистическую значимость различий определяли по критериям Фишера и Стьюдента: значимыми считали различия при $p < 0,05$. Полученные результаты сравнивали с физиологически оптимальными величинами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены показатели концентрации в сыворотке крови продуктов окислительного метаболизма. Средние значения показателей ПОЛ (ГПл и ВР-ТБК) у спортсменов северного региона превышали верхнюю границу физиологически адекватных величин, а значение ОАА расположилось ближе к нижнему пределу физиологически оптимальных значений. При этом показатель ТС оказался меньше нижней границы нормы. Важно отметить, что показатель КОС у обследуемых лиц более чем в 4,2 раза превышал максимальную величину физиологической нормы.

В табл. 2 показано распределение изучаемых показателей по степени содержания продуктов окислительного метаболизма у обследованных спортсменов ХМАО.

Повышенные показатели продуктов ПОЛ были установлены у значительного числа юношей: ГПл — более чем у четверти, а ВР-ТБК — более чем у 30% на фоне пониженных относительно физиологически оптимальных значений параметров АОЗ организма у третьей части обследованных лиц.

Таблица 1. Показатели окислительного метаболизма у юношей-спортсменов Ханты-Мансийского автономного округа**Table 1.** Indicators of oxidative metabolism in young athletes of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug

Показатель Parameter	Физиологически оптимальные значения Physiologically optimal values	Юноши-спортсмены Ханты-Мансийского автономного округа Junior athletes in Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug (n=56)	
		M±σ	min-max
ГПл, мкмоль/л HPL (μmol/L)	225–450	456,8±32,4	386–519
BP-ТБК, мкмоль/л BP-TBA (μmol/L)	2,2–4,8	4,98±0,41	4,70–5,19
ОАА, ммоль/л TAA (mmol/l)	0,5–2,0	0,59±0,05	0,48–0,69
ТС, мкмоль/л TS (μmol/L)	430–660	396,8±34,2	361,9–453,7
КОС, у.е. COS (units)	1,6–2,3	9,72±0,83	7,9–10,7

Примечание: ГПл — гидроперекись липидов; BP-ТБК — реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой вещества; ОАА — общая антиокислительная активность; ТС — тиоловый статус; КОС — коэффициент окислительного стресса.

Note: HPL, lipid hydroperoxide; BP-TBA, substances reacting with 2-thiobarbituric acid; TAA, total antioxidant activity; TS, thiol status; COS, oxidative stress coefficient.

Обращает на себя внимание превышение показателей КОС у подавляющего большинства юношей-спортсменов: завышенные значения данного показателя характеризовали окислительный метаболизм у 70,4% обследованных лиц. При этом высокие параметры КОС (превышение более чем в 2 раза относительно физиологической нормы) были выявлены у 12 спортсменов (21,4%) (см. табл. 2). Можно заключить, что повышение интенсивности и объема физической нагрузки приводит к изменению прооксидантно-антиоксидантного равновесия в сторону увеличения реакционно-активных форм кислорода, что обуславливает истощение резервов антиоксидантов в организме спортсменов и развитие окислительного стресса.

В табл. 3 представлены результаты коррекции системы прооксидантно-антиоксидантного равновесия после ежедневного приёма ДГК в течение 2 мес у юношей,

занимающихся лыжными гонками и биатлоном в северном регионе.

Важно отметить, что целенаправленное продолжительное воздействие ДГК на систему окислительно-восстановительного гомеостаза привело к нормализации параметров окислительного метаболизма у обследуемых лиц: помимо КОС, все показатели как ПОЛ, так и АОЗ стали соответствовать физиологически оптимальным параметрам. При этом наблюдалось снижение как первичных (ГПл — в 1,15 раза), так и вторичных (BP-ТБК, $p=0,046$) параметров ПОЛ в сочетании со статистически значимым увеличением показателей АОЗ: ОАА ($p=0,022$) и ТС ($p=0,049$). Величина КОС статистически значимо (в 2,3 раза) снизилась по сравнению с исходной, но всё же оказалась в 1,8 раза больше верхнего предела физиологически оптимальных значений ($p < 0,001$) (см. табл. 3).

Таблица 2. Ранжирование обследованных лиц по параметрам окислительного метаболизма, абс. число/%**Table 2.** Ranking of the examined persons according to the parameters of oxidative metabolism (abs. number/%)

Показатель Parameter	Уровни окислительного метаболизма у юношей-спортсменов колледжа олимпийского резерва Levels of oxidative metabolism in young male athletes of the Olympic reserve college (n=56)		
	Оптимальный Optimal	Повышенный Increased	Пониженный Decreased
ГПл, мкмоль/л HPL (μmol/L)	41/73,2	15/26,8	—
BP-ТБК, мкмоль/л BP-TBA (μmol/L)	39/69,6	17/30,4	—
ОАА, ммоль/л TAA (mmol/l)	38/67,9	—	18/32,1
ТС, мкмоль/л TS (μmol/L)	37/66,1	—	19/33,9
КОС, у.е. COS (units)	16/28,6	40/71,4	—

Примечание: ГПл — гидроперекись липидов; BP-ТБК — реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой вещества; ОАА — общая антиокислительная активность; ТС — тиоловый статус; КОС — коэффициент окислительного стресса.

Note: HPL, lipid hydroperoxide; BP-TBA, substances reacting with 2-thiobarbituric acid; TAA, total antioxidant activity; TS, thiol status; COS, oxidative stress coefficient.

Таблица 3. Влияние дигидрокверцетина на показатели окислительного метаболизма у юношей-спортсменов Ханты-Мансийского автономного округа, $M \pm \sigma$

Table 3. Effect of dihydroquercetin on oxidative metabolism in male athletes of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug ($M \pm \sigma$)

Показатель Parameter	Физиологически оптимальные значения Physiologically optimal values	Окислительный метаболизм у юношей-спортсменов Oxidative metabolism in young male athletes ($n=56$)		
		до коррекции ДГК before DHQ	после коррекции ДГК after DHQ	p
ГПл, мкмоль/л HPL ($\mu\text{mol/L}$)	225–450	456,8 \pm 32,4	398,1 \pm 28,3	0,175
BP-ТБК, мкмоль/л BP-TBA ($\mu\text{mol/L}$)	2,2–4,8	4,98 \pm 0,41	4,05 \pm 0,21	0,046
ОАА, ммоль/л TAA (mmol/l)	0,5–2,0	0,56 \pm 0,05	0,78 \pm 0,08	0,022
ТС, мкмоль/л TS ($\mu\text{mol/L}$)	430–660	396,8 \pm 34,2	497,6 \pm 37,4	0,049
КОС, у.е. COS (units)	1,6–2,3	9,72 \pm 0,83	4,21 \pm 0,32	<0,001

Примечание: ДГК — дигидрокверцетин; ГПл — гидроперекись липидов; BP-ТБК — реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой вещества; ОАА — общая антиокислительная активность; ТС — тиоловый статус; КОС — коэффициент окислительного стресса.

Note: DHQ, dihydroquercetin; HPL, lipid hydroperoxide; BP-TBA, substances reacting with 2-thiobarbituric acid; TAA, total antioxidant activity; TS, thiol status; COS, oxidative stress coefficient.

Итак, метаболическая коррекция прооксидантно-антиоксидантного равновесия при помощи ДГК у юношей-спортсменов зимних видов спорта, проживающих и тренирующихся в северном регионе, привела к нормализации в системе ПОЛ/АОЗ: статистически значимому снижению прооксидантных показателей на фоне увеличения антиоксидантных ресурсов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из основных задач физиологии является проблема адаптации человека ко всевозможным неблагоприятным факторам [38]. Многими исследованиями доказано увеличение устойчивости к окислительному стрессу при адекватных физических нагрузках вследствие повышения функционирования системы транспортировки кислорода и оптимизации прооксидантно-антиоксидантной системы [1]. В то же время активизация процессов ПОЛ, сопровождающая чрезмерные физические нагрузки, может привести к значительным нарушениям работы органов и систем организма человека, обнуляя позитивное воздействие двигательной активности на трудоспособность, выносливость и эффективность тренировок у спортсменов.

Обследуемые нами юноши-спортсмены постоянно проживали и тренировались в ХМАО, расположенном на севере Тюменской области. Климат этого региона отличаются тяжёлый аэродинамический режим, длительная и суровая зима и короткое лето, значительные суточные перепады температуры и атмосферного давления, изменённая фотопериодичность и т.д., что оказывает негативное влияние на течение физиологических процессов в организме [39–41]. Профессиональные спортсмены нередко проводят тренировки на открытом воздухе даже в сильные морозы, что является добавочным прессингом

для их здоровья (особенно в зимних видах спорта, к которым относятся обследуемые нами юноши).

В настоящее время имеется достаточно данных о значимости процессов пероксидации для мышечной нагрузки и об участии ПОЛ в развитии заболеваний у лиц, занимающихся спортом [42].

Неоднократное изменение мышечной деятельности в процессе тренировок ведёт к дисбалансу между увеличивающимся потреблением кислорода и сокращением его потребления организмом. Данное расхождение вызывает развитие относительной гипероксии скелетной мускулатуры, которое может потенцировать избыточное образование свободных радикалов, наносящих вред организму спортсменов [11, 43]. В нашем исследовании установлено увеличение концентрации как первичных продуктов ПОЛ (ГПл), так и вторичных (BP-ТБК), превышающее верхний предел физиологической нормы (см. табл. 1), что полностью согласуется с результатами исследований других авторов [1, 11, 12, 14, 18, 44–46].

Вместе с тем усиление образования свободных радикалов обусловлено стимулированием адаптивных способностей организма к неблагоприятным условиям. Таким образом, поддержание окислительного метаболизма является предопределяющим в развитии компенсационных процессов при спортивных максимальных нагрузках [1, 4, 15, 46]. Постоянное повышение интенсивности и объёма физических нагрузок негативно воздействует на антиоксидантные ресурсы организма спортсменов [46, 47], что подтверждено и результатами нашего исследования: пониженный уровень ОАА и ТС был выявлен у третьей части обследованных юношей, занимающимися лыжными гонками и биатлоном в колледже-интернате олимпийского резерва г. Ханты-Мансийска (см. табл. 2). Это способно отрицательно повлиять на функциональное состояние,

рост спортивных результатов и спровоцировать состояние перетренированности [4, 15].

Итак, будучи значительной составляющей процесса спортивной подготовки, высокоинтенсивная мышечная нагрузка может способствовать развитию утомления и снижению эффективности тренировок [42, 44].

Высокий уровень физической активности сопровождается усилением функционирования всех органов и систем организма, что предопределяет необходимость не только дополнительного поступления макро- и микронутриентов с пищей, в том числе и обладающих антиоксидантной активностью, но и применения биологически активных добавок к пище, содержащих повышенное количество витаминов и биоэлементов [48, 49]. Это обусловлено избыточным накоплением агрессивных форм кислорода: 15-кратным — в организме спортсмена и 100-кратным — в функционирующих мышцах [50, 51]. Имеющаяся в организме человека система АОЗ, направленная на защиту от радикальных повреждений, при чрезмерных физических нагрузках в случае перетренировок не способна эффективно справиться со своими функциями, что вызывает срыв процесса восстановления спортсмена перед ответственными соревнованиями [28].

Доказано, что регулярный тренировочный процесс способствует повышению активности ферментов АОЗ и, соответственно, улучшает стрессоустойчивость организма [22]. В то же время чрезмерная физическая деятельность является стрессовой реакцией для организма любых спортсменов, не зависящей от возраста, стажа занятий спортом и квалификации [45]. При этом свободные радикалы проявляют как позитивное (способствуют формированию адаптации к прогрессирующему росту физической нагрузки), так и негативное (потенцируют развитие окислительного стресса) воздействие на организм спортсмена. Среди обследованных нами юных спортсменов только 30 (53,6%) имели спортивные разряды: 14 (25,0%) — первый разряд, 8 (14,3%) были кандидатами в мастера спорта и 8 (14,3%) — мастерами спорта. Иными словами, подавляющее большинство находящихся под наблюдением студентов колледжа-интерната олимпийского резерва в силу юного возраста и непродолжительного времени занятий спортом на момент обследования ещё находились в периоде метаболической адаптации к высоким физическим нагрузкам. По этой причине чрезмерно высокий уровень нагрузок вызвал сдвиг прооксидантно-антиоксидантного равновесия в сторону активизации процессов липопероксидации, что и показано результатами нашей работы (см. табл. 3).

Многочисленными исследованиями доказано, что сопровождающие тренировочную и соревновательную деятельность у спортсменов чрезмерные физические нагрузки приводят к значимой активизации процессов ПОЛ в сочетании со снижением активности системы АОЗ [20, 21, 26, 49, 52], что подтверждено результатами наших исследований (см. табл. 1).

Вместе с тем, чем больше свободных радикалов образуется в процессе ПОЛ, тем выше потребность организма спортсмена в микронутриентах антиоксидантного действия. Важно отметить, что принципиальное значение для поддержки оптимального состояния адаптации имеет именно состояние системы АОЗ, сдерживающей свободнорадикальное окисление и обеспечивающей адекватные приспособительные механизмы: необходимость восполнения резервов антиоксидантов имеет принципиальное значение для спортсменов в различные периоды тренировочного процесса.

Важно подчеркнуть, что неуправляемая стимуляция процессов липопероксидации на фоне уменьшения антиоксидантных резервов может привести не только к значимому повышению «цены адаптации», но и к несостоятельности приспособительных систем организма, расстройству механизмов адаптации, в результате чего у спортсмена могут развиваться преморбидные состояния.

Многочисленными исследованиями доказан единый путь интенсивных аэробных и анаэробных нагрузок, приводящий к окислительному стрессу [21, 22, 24, 53, 54]. Однако ряд авторов считают, что виды спорта с преобладанием аэробных нагрузок (к ним, в частности, относятся и циклические виды спорта, такие как лыжные гонки и биатлон) влекут за собой более выраженный окислительный стресс в сравнении с силовыми (к ним, в частности, относятся ациклические виды спорта, такие как борьба, метание диска, толкание ядра и пр.), что сопровождается в большей степени повреждением мышечной ткани [22, 23]. Это в полной мере соответствует результатам нашего обследования у лыжников и биатлонистов.

Итак, своевременная диагностика и коррекция окислительно-восстановительного баланса у спортсменов выступают в качестве важнейшего компонента комплекса мероприятий, обеспечивающих здоровье, реабилитацию во время восстановительного периода, и в итоге способствуют росту их спортивных достижений.

Среди множества препаратов, обладающих антиоксидантным действием и используемых в спортивной медицине [55], ДГК отличается прерогативной эффективностью и безопасностью применения. Однако даже после такой значительной антиоксидантной поддержки средние величины показателей ПОЛ расположились в диапазоне физиологически оптимальных значений, но ближе к верхней их границе, а значения параметров системы АОЗ также оказались в пределах физиологической нормы, но ближе к нижнему порогу в сочетании с повышенным в 1,8 раза показателем КОС (см. табл. 3).

Помимо положительных изменений показателей состояния окислительного метаболизма обследованные лица после двухмесячного приёма ДГК отмечали улучшение общего самочувствия, увеличение порога усталости, укорочение периода восстановления после изнурительных тренировок и пр.

Таким образом, активация процессов ПОЛ, сопровождающая интенсивные физические нагрузки, может явиться важнейшим фактором, лимитирующим выносливость, работоспособность, поступательный рост спортивных результатов спортсменов, а также способным привести к формированию дезадаптационных расстройств и развитию патологических состояний. Поэтому фармакологическая поддержка спортсменов включает широкое использование биологически активных добавок, в первую очередь обладающих мощным антиоксидантным действием, которые способны эффективно предотвращать избыточную генерацию свободных радикалов и других токсических продуктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У юношей-спортсменов северного региона, занимающихся лыжными гонками и биатлоном, установлено превышение прооксидантных показателей окислительного метаболизма в сочетании с расположенными у нижнего предела физиологической нормы антиоксидантными показателями. Коэффициент окислительного стресса в 3,5 раза превышал верхний предел оптимальных значений и был зарегистрирован у более чем 70% спортсменов. Установлено, что после ежедневного приема биофлавоноида дигидрокверцетина в течение 2 мес наблюдалась нормализация показателей перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты организма, кроме коэффициента окислительного стресса, величина которого статистически значимо снизилась ($p < 0,001$) в 2,3 раза сравнительно с исходным значением, но всё же оставалась почти в 2 раза выше максимального значения физиологически адекватных величин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев С.А. Влияние интенсивных физических нагрузок на оксидативный стресс и антиоксидантные изменения организма спортсменов // Chronos: естественные и технические науки. 2020. № 2. С. 17–22.
2. Афраимов А.А., Умаров М.А. Стратегии развития физической культуры и спорта // Проблемы науки. 2021. № 2. С. 53–55.
3. Василенко В.С., Лопатин З.В. Оксидативный стресс и дисфункция эндотелия у спортсменов как фактор риска кардиомиопатии перенапряжения // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 1. С. 18.
4. Гунина Л. Окислительный стресс и адаптация: метаболические аспекты влияния физических нагрузок // Наука в олимпийском спорте. 2013. № 4. С. 19–25.
5. Круглякова М.В., Смирнова О.В., Титова Н.М. Оценка показателей антиоксидантной и глутатионовых систем в крови здоровых людей // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11, № 5. С. 64–688. doi: 10.12731/2658-6649-2019-11-5-64-68
6. Осяева М.К., Тихазе А.К., Коновалова Г.Г., и др. Изменение ключевых параметров окислительного стресса у больных ишемической болезнью сердца при волнах летней

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. В.И. Корчин — концепция и дизайн исследования, интерпретация полученных данных и переработка текста; Е.П. Федорова — получение первичных данных, статистическая обработка данных, дизайн исследования; Т.Я. Корчина — получение, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи, А.В. Нехорошева — дизайн исследования, проверка текста статьи; С.В. Нехорошев — математическая обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли, отредактировали и одобрили финальную версию перед публикацией).

Финансирование. Исследование выполнено без финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.I. Korchin — concept and study design, data interpretation and text editing; E.P. Fedorova — data collection, statistical analysis, study design; T.Ya. Korchina — data collection, analysis and interpretation, drafting the article; A.V. Nehorosheva — study design, text editing; S.V. Nehoroshev — statistical analysis and results interpretation, drafting the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read, edited and approved the final version before publication).

Funding sources. No external funding.

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

жары // Терапевтический архив. 2021. Т. 93, № 4. С. 421–426. doi: 10.26442/00403660.2021.04.200684

7. Forman H.J., Zhang H. Targeting oxidative stress in disease: promise and limitations of antioxidant therapy // Nat Rev Drug Discov. 2021. Vol. 20, N 9. P. 689–709. doi: 10.1038/s41573-021-00233-1
8. Khlebus E., Kutsenko V., Meshkov A., et al. Multiple rare and common variants in apob gene locus associated with oxidatively modified low-density lipoprotein levels // PLoS One. 2019. Vol. 14, N 5. P. e0217620. doi: 10.1371/journal.pone.0217620
9. Lankin V.Z., Tikhaze A.K. Role of oxidative stress in the genesis of atherosclerosis and diabetes mellitus: a personal look back on 50 years of research // Curr Aging Sci. 2017. Vol. 10, N 1. P. 18–25. doi: 10.2174/1874609809666160926142640
10. Владимиров Ю.А. Свободные радикалы в биологических системах // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 12. С. 13–19.
11. Блинова Т.В., Страхова Л.А., Колесов С.А. Влияние интенсивных физических нагрузок на биохимические показатели систем антиоксидантной защиты и оксида азота у спортсме-

- нов-пловцов // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59, № 10. С. 860–865. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-10-860-865
12. Гребенчиков О.А., Забелина Т.С., Филиповская Ж.С., и др. Молекулярные механизмы окислительного стресса // Вестник интенсивной терапии. 2016. № 3. С. 13–21.
13. Barzegar Amiri O.M., Schiesser C., Taylor M. New reagents for detecting free radicals and oxidative stress // *Org Biomol Chem*. 2014. Vol. 12, N 35. P. 6757. doi: 10.1039/c4ob01172d
14. Гаджиев А.М., Алиев С.А., Агаева С.Е. Роль эндогенных и экзогенных антиоксидантов в адаптивной мышечной деятельности // Теория и практика физической культуры. 2014. № 8. С. 53–56.
15. Johnson B.D., Padilla J., Wallace J.P. The exercise dose affects oxidative stress and brachial artery flow-mediated dilation in trained men // *Eur J Appl Physiol*. 2012. Vol. 112, N 1. P. 33–42. doi: 10.1007/s00421-011-1946-8
16. Powers S.K., Talbert E.E., Adhietty P.J. Reactive oxygen and nitrogen species as intracellular signals in skeletal muscle // *J Physiol*. 2011. Vol. 589, Pt 9. P. 2129–2138. doi: 10.1113/jphysiol.2010.201327
17. Корнякова В.В., Конвай В.Д., Фомина Е.В. Антиоксидантный статус крови при физических нагрузках и его коррекция // Фундаментальные исследования. 2012. № 1. С. 47–51.
18. Bloomer R.J. Effect of exercise on oxidative stress biomarkers // *Adv Clin Chem*. 2008. Vol. 46. P. 1–50.
19. Чанчаева Е.А., Айзман Р.И., Герасев А.Д. Современное представление об антиоксидантной системе организма человека // Экология человека. 2013. Т. 20, № 7. С. 50–58. doi: 10.17816/humeco17333
20. Алиев С.А., Гасанова А.К., Алибекова С.С., Агаева С.Э. Влияние физических нагрузок на состояние перекисного окисления липидов и системы антиоксидантной защиты // Научный альманах. 2017. № 5-3. С. 255–261. doi: 10.17117/na.2017.05.03.255
21. Конторщикова К.Н., Тихомирова Ю.Р., Овчинников А.Н., и др. Использование показателей свободнорадикального окисления в ротовой жидкости в качестве маркеров функционального состояния спортсменов // Современные технологии в медицине. 2017. Т. 9, № 3. С. 82–86. doi: 10.17691/stm2017.9.3.11
22. Fernández-Lázaro D., Fernandez-Lazaro C., Mielgo-Ayuso J., et al. The role of selenium mineral trace element in exercise: antioxidant defense system, muscle performance, hormone response, and athletic performance. A systematic review // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, N 6. P. 1790. doi: 10.3390/nu12061790
23. Martinez-Ferran M., Sanchis-Gomar F., Lavie C.J., et al. Do antioxidant vitamins prevent exercise-induced muscle damage? A systematic review // *Antioxidants (Basel)*. 2020. Vol. 9, N 5. P. 372. doi: 10.3390/antiox9050372
24. Колесникова Л.И., Даренская М.А., Колесников С.И. Свободнорадикальное окисление: взгляд патофизиолога // Бюллетень сибирской медицины. 2017. Т. 16, № 4. С. 16–29. doi: 10.20538/1682-0363-2017-4-16-29
25. Braakuis A.J., Hopkins W.G., Lowe T.E. Effects of dietary antioxidants on training and performance in female runners // *Eur J Sport Science*. 2014. Vol. 14, N 2. P. 160–168. doi: 10.1080/17461391.2013.785597
26. Lamina S., Ezema C.I., Teresa A.I., Antonia E.U. Effects of free radicals and antioxidants on exercise performance // *Oxid Antioxid Med Sci*. 2013. Vol. 2, N 2. P. 83–91.
27. Myburgh K.H. Polyphenol supplementation: benefits for exercise performance or oxidative stress? *Sports Med*. 2014. Vol. 44, Suppl. 1. P. S57–S70. doi: 10.1007/s40279-014-0151-4
28. Григорьева Н.М. Использование антиоксидантов в спортивной практике // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. 2020. № 1. С. 23–36.
29. Калинина И.В., Потороко И.Ю., Ненашева А.В. Перспективы использования наноэмульсий на основе дигидрохверцетина в составе продуктов для спортивного питания // Человек. Спорт. Медицина. 2019. Т. 19, № 1. С. 100–107. doi: 10.14529/hsm190114
30. Riva A., Vitale J.A., Belcaro G., et al. Quercetin phytosome in triathlon athletes: a pilot registration study // *Minerva Med*. 2018. Vol. 109, N 4. P. 285–289. doi: 10.23736/S0026-4806.18.05681-1
31. Бабенкова И.В., Осипов А.Н., Теселкин Ю.О. Влияние дигидрохверцетина на каталитическую активность ионов железа (II) в реакции фентона // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2018. Т. 165, № 3. С. 321–324. doi: 10.1007/s10517-018-4167-x
32. Шелковская О.В., Иванов В.Е., Карп О.Э. Дигидрохверцетин уменьшает концентрацию перекиси водорода и гидроксильных радикалов, индуцированных рентгеновским излучением // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 571.
33. Зверев Я.Ф. Флавоноиды глазами фармаколога. Антиоксидантная и противовоспалительная активность // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2017. Т. 15, № 4. С. 5–13. doi: 10.17816/RCF1545-13
34. Самбукова Т.В., Овчинников Б.В., Ганопольский В.П. Перспективы использования фитопрепаратов в современной фармакологии // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2017. Т. 15, № 2. С. 56–63. doi: 10.17816/RCF15256-63
35. Судаков Н.П., Попкова Т.Н., Лозовская Е.А., и др. Влияние дигидрохверцетина на гиперхолестеринемию // Химия растительного сырья. 2020. № 4. С. 281–288. doi: 10.14258/jcprm.2020047767
36. Sunil C., Xu B. An insight into the health-promoting effects of taxifolin (dihydroquercetin) // *Phytochemistry*. 2019. Vol. 166. P. 112066. doi: 10.1016/j.phytochem.2019.112066
37. Корчин В.И., Бикбулатова Л.Н., Корчина Т.Я., Угорелова Е.А. Состояние окислительного метаболизма у коренного и пришлого населения Ямало-Ненецкого автономного округа // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7-2. С. 106–109. doi: 10.23670/IRJ.2021.109.7.054
38. Корчина Т.Я., Корчин В.И. Анализ глутатионового звена антиоксидантной системы защиты у мужчин северного региона с различным уровнем антропогенной нагрузки // Технологии живых систем. 2019. Т. 16, № 3. С. 47–55. doi: 10.18127/j20700997-201903-04
39. Дудко А.В., Батанцев Н.И., Койносов А.П. Влияние природно-климатических условий Крайнего Севера на кардиореспираторную и нервную систему спортсменов лыжников. Литературный обзор // Научный медицинский вестник Югры. 2021. № 2. С. 4–7. doi: 10.25017/2306-1367-2022-33-3-4-7

40. Корчин В.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М., и др. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения // Журнал медико-биологических исследований. 2021. Т. 9, № 1. С. 77–88. doi: 10.37482/2687-1491-Z046
41. Панин Л.Е. Фундаментальные проблемы приполярной и арктической медицины // Бюллетень сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2013. Т. 33, № 6. С. 5–10.
42. Nicolaidis M.G., Jamurtas A.Z., Paschalis V. The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations // *Sports Med.* 2008. Vol. 38, N 7. P. 579–606. doi: 10.2165/00007256-200838070-00005
43. Ammar A., Chtourou H., Hammouda O., et al. Relationship between biomarkers of muscle damage and redox status in response to a weightlifting training session: effect of time-of-day // *Physiol Int.* 2016. Vol. 103, N 2. P. 243–261. doi: 10.1556/036.103.2016.2.11
44. Корнякова В.В., Конвай В.Д. Изменение антиоксидантного статуса крови у спортсменов циклических видов спорта с разные периоды тренировочного процесса // Успехи современного естествознания. 2015. № 1-3. С. 398–400.
45. Djordjevic D., Cubrilo D., Macura M., et al. The influence of training status on oxidative stress in young male handball players // *Mol Cell Biochem.* 2011. Vol. 351, N 1-2. P. 251–259. doi: 10.1007/s11010-011-0732-6
46. Nikolaidis M.G., Jamurtas A.Z. Blood as a reactive species generator and redox status regulator during exercise // *Arch Biochem Biophys.* 2009. Vol. 490, N 2. P. 77–84. doi: 10.1016/j.abb.2009.08.015
47. Burgos C., Henriquez-Olguin C., Andrade D.C., et al. Effects of exercise training under hyperbaric oxygen on oxidative stress markers and endurance performance in young soccer players: a pilot study // *J Nutr Metab.* 2016. Vol. 2016. P. 5647407. doi: 10.1155/2016/5647407
48. Еликов А.В., Галстян А.Г. Антиоксидантный статус у спортсменов при выполнении дозированной физической нагрузки и в восстановительном периоде // Вопросы питания. 2017. Т. 86, № 2. С. 23–31.
49. Никитюк Д.Б., Ключкова С.В., Рожкова Е.А. Спортивное питание: требования и современные подходы // Вопросы диетологии. 2014. Т. 4, № 1. С. 40–43.
50. Яшин Я.И., Веденин А.Н., Яшин А.Я. Антиоксиданты и спорт. Основные причины неудачных применений. Возможные перспективы // Спортивная медицина: наука и практика. 2016. Т. 6, № 1. С. 35–39.
51. Lambrecht M. Antioxidants in sport nutrition. CRC Press, 2014. 299 p.
52. Gomez-Cabrera M.C., Viña J., Ji L.L. Interplay of oxidants and antioxidants during exercise: implications for muscle health // *Phys Sportsmed.* 2009. Vol. 37, N 4. P. 116–123. doi: 10.3810/psm.2009.12.1749
53. Kruk J., Aboul-Enein H.Y., Kladna A., Bowser J.E. Oxidative stress in biological systems and its relation with pathophysiological functions: the effect of physical activity on cellular redox homeostasis // *Free Radic Res.* 2019. Vol. 53, N 5. P. 497–521. doi: 10.1080/10715762.2019.1612059
54. Tan B.L., Norhaizan M.E., Liew W.P., Sulaiman Rahman H. Antioxidant and oxidative stress: a mutual interplay in age-related diseases // *Front Pharmacol.* 2018. Vol. 9. P. 1162. doi: 10.3389/fphar.2018.01162
55. Пупчик Т., Эврт Л., Иванов А. Возможности применения биологически активных добавок у спортсменов в условиях высоких спортивных нагрузок // Врач. 2019. Т. 30, № 10. С. 24–31. doi: 10.29296/25877305-2019-10-05

REFERENCES

1. Aliev SA. Vliyanie intensivnykh fizicheskikh nagruzok na oksidativnyj stress i antioksidantnye izmeneniya organizma sportsmenov. *Chronos: Natural and Technical Sciences.* 2020;2:17–22. (In Russ).
2. Afraimov AA, Umarov MA. Strategii razvitiya fizicheskoy kul'tury i sporta. *Problems of Science.* 2021;2:53–55. (In Russ).
3. Vasilenko VS, Lopatin ZV. Oxidative stress and endothelial dysfunction in athletes as a risk factor for cardiomyopathy overstrain. *Modern Problems of Science and Education.* 2019;(1):18. (In Russ).
4. Gunina L. Oxidative stress and adaptation: metabolic aspects of physical activity impact. *Science in Olympic Sports.* 2013;(4):19–25. (In Russ).
5. Kruglyakova MV, Smirnova OV, Titova NM. Evaluation of indicators of antioxidant and glutathione systems in the blood of healthy people. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.* 2019;11(5):64–68. (In Russ). doi: 10.12731/2658-6649-2019-11-5-64-68
6. Osaeva MK, Tikhaze AK, Konovalova GG, et al. Impact of summer heat waves on key parameters of oxidative stress in patients with coronary artery disease. *Terapevticheskii arkhiv.* 2021;93(4):421–426. (In Russ). doi: 10.26442/00403660.2021.04.200684
7. Forman HJ, Zhang H. Targeting oxidative stress in disease: promise and limitations of antioxidant therapy. *Nat Rev Drug Discov.* 2021;20(9):689–709. doi: 10.1038/s41573-021-00233-1
8. Khlebus E, Kutsenko V, Meshkov A, et al. Multiple rare and common variants in apob gene locus associated with oxidatively modified low-density lipoprotein levels. *PLoS One.* 2019;14(5):e0217620. doi: 10.1371/journal.pone.0217620
9. Lankin VZ, Tikhaze AK. Role of oxidative stress in the genesis of atherosclerosis and diabetes mellitus: a personal look back on 50 years of research. *Curr Aging Sci.* 2017;10(1):18–25. doi: 10.2174/1874609809666160926142640
10. Vladimirov JuA. Svobodnye radikaly v biologicheskikh sistemah. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal.* 2000;6(12):13–19. (In Russ).
11. Blinova TV, Strakhova LA, Kolesov SA. The effect of intense physical exertion on the biochemical parameters of antioxidant protection systems and nitric oxide in swimming athletes. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology.* 2019;59(10):860–865. (In Russ). doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-10-860-865
12. Grebenchikov OA, Zabelina TS, Philippovskaya ZhS. Molecular mechanisms of oxidative stress. *Annals of Critical Care.* 2016;(3):13–21. (In Russ).

13. Barzegar Amiri OM, Schiesser C, Taylor M. New reagents for detecting free radicals and oxidative stress. *Org Biomol Chem.* 2014;12(35):6757. doi: 10.1039/c4ob01172d
14. Gadzhiev AM, Aliev SA, Agaeva SE. The role of endogenous and exogenous antioxidants in adaptive muscular work. *Theory and Practice of Physical Culture.* 2014;(8):53–56. (In Russ).
15. Johnson BD, Padilla J, Wallace JP. The exercise dose affects oxidative stress and brachial artery flow-mediated dilation in trained men. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(1):33–42. doi: 10.1007/s00421-011-1946-8
16. Powers SK, Talbert EE, Adhietty PJ. Reactive oxygen and nitrogen species as intracellular signals in skeletal muscle. *J Physiol.* 2011;589(Pt 9):2129–2138. doi: 10.1113/jphysiol.2010.201327
17. Korniyakova VV, Konway VD, Fomina EV. Antioxidant status of blood during exercise and its correction. *Fundamental Research.* 2012;(1):47–51. (In Russ).
18. Bloomer RJ. Effect of exercise on oxidative stress biomarkers. *Adv Clin Chem.* 2008;46:1–50.
19. Chanchaeva EA, Aizman RI, Gerasev AD. Contemporary perception of antioxidant system of human organism. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2013;20(7):50–58. (In Russ). doi: 10.17816/humeco17333
20. Aliev SA, Hasanova AK, Alibekova SS, Agaeva SE. Influence of physical activities on the state of lipid peroxidation and antioxidant defense system. *Science Almanac.* 2017;(5-3):255–261. (In Russ). doi: 10.17117/na.2017.05.03.255
21. Kontorshchikova KN, Tikhomirova YuR, Ovchinnikov AN, et al. Indices of free radical oxidation in the oral fluid as markers of athletes' functional state. *Modern Technologies in Medicine.* 2017;9(3):82–86. (In Russ). doi: 10.17691/stm2017.9.3.11
22. Fernández-Lázaro D, Fernandez-Lazaro C, Mielgo-Ayuso J, et al. The role of selenium mineral trace element in exercise antioxidant defense system, muscle performance, hormone response, and athletic performance. A systematic review. *Nutrients.* 2020;12(6):1790. doi: 10.3390/nu12061790
23. Martínez-Ferran M, Sanchis-Gomar F, Lavie C, et al. Do antioxidant vitamins prevent exercise-induced muscle damage? A systematic review. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(5):372. doi: 10.3390/antiox9050372
24. Kolesnikova LI, Darenskaya MA, Kolesnikov SI. Free radical oxidation: a pathophysiological's view. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2017;16(4):6–29. (In Russ). doi: 10.20538/1682-0363-2017-4-16-29
25. Braakuis AJ, Hopkins WG, Lowe TE. Effects of dietary antioxidants on training and performance in female runners. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(2):160–168. doi: 10.1080/17461391.2013.785597
26. Lamina S, Ezema CI, Teresa AI, Antonia EU. Effects of free radicals and antioxidants on exercise performance. *Oxid Antioxid Med Sci.* 2013;2(2):83–91.
27. Myburgh KH. Polyphenol supplementation: benefits for exercise performance or oxidative stress? *Sports Med.* 2014;44(Suppl. 1):S57–S70. doi: 10.1007/s40279-014-0151-4
28. Grigoryeva NM. Antioxidant usage in sport practice. *Nauchno-sportivnyy vestnik Urala i Sibiri.* 2020;(1):23–36. (In Russ).
29. Kalinina IV, Potoroko IYu, Nenasheva AV. Prospects for the use of nanoemulsions based on dihydroquercetin in the composition of products for sports nutrition. *Human. Sport. Medicine.* 2019;19(1):100–107. (In Russ). doi: 10.14529/hsm190114
30. Riva A, Vitale JA, Belcaro G, et al. Quercetin phytosome in triathlon athletes: a pilot registration study. *Minerva Med.* 2018;109(4):285–289. doi: 10.23736/S0026-4806.18.05681-1
31. Babenkova IV, Osipov AN, Teselkin YO. Influence of dihydroquercetin on the catalytic activity of iron (II) ions in the Fenton reaction. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* 2018;165(3):321–324. (In Russ). doi: 10.1007/s10517-018-4167-x
32. Shelkovskaya OV, Ivanov VE, Karp OE. Dihydroquercetin reduces the concentration of hydrogen peroxide and hydroxyl radicals induced by X-ray radiation. *Modern Problems of Science and Education.* 2015;(3):571. (In Russ).
33. Zverev YaF. Flavonoids through the eyes of a pharmacologist. Antioxidant and anti-inflammatory activities. *Reviews of Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2017;15(4):5–13. (In Russ). doi: 10.17816.RCF1545-13
34. Sambukova TV, Ovchinnikov BV, Ganapolsky VP. Prospects for the use of phytopreparations in modern pharmacology. *Reviews of Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2017;15(2):56–63. (In Russ). doi: 10.17816/RCF15256-63
35. Sudakov NP, Popkova TP, Lozovskaya EA, et al. Influence of dihydroquercetin on hypercholesterolemia. *Khimija rastitel'nogo syr'ya.* 2020;(4):281–288. (In Russ). doi: 10.14258.jcprm.2020047767
36. Sunil C, Xu B. An insight into the health-promoting effects of taxifolin (dihydroquercetin). *Phytochemistry.* 2019;166:112066. doi: 10.1016/j.phytochem.2019.112066
37. Korchin VI, Bikbulatova LN, Korchina TYa, Ugorelova EA. On the state of oxidative metabolism in the local and newly arrived population of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *International Research Journal.* 2021;(7-2):106–109. (In Russ). doi: 10.23670/IRJ.2021.109.7.054
38. Korchina TYa, Korchin VI. Analysis of glutathione part of the antioxidant protective system of males of the north region with various levels of human induced pressures. *Technologies of Living Systems.* 2019;16(3):44–51. (In Russ). doi: 10.18127/j20700997-201903-04
39. Dudko AV, Batantsev NI, Koinosov AP. Influence of natural and climatic conditions of the Far North on the cardiorespiratory and nervous system of skiers. Literature review. *The Scientific and Practical Journal of Medicine.* 2021;(2):4–7. (In Russ). doi: 10.25017/2306-1367-2022-33-3-4-7
40. Korchin VI, Korchina TYa, Ternikova EM, et al. Influence of climatic and geographical factors of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the health of the population. *Journal of Medical and Biological Research.* 2021;9(1):77–88. (In Russ). doi: 10.37482/2687-1491-Z046
41. Panin LE. Fundamental problems of circumpolar and arctic medicine. *The Siberian Scientific Medical Journal.* 2013;33(6):5–10. (In Russ).
42. Nicolaidis MG, Jamurtas AZ, Paschalis V. The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations. *Sports Med.* 2008;38(7):579–606. doi: 10.2165/00007256-200838070-00005
43. Ammar A, Chtourou H, Hammouda O, et al. Relationship between biomarkers of muscle damage and redox status in response to a weightlifting training session: effect of time-of-day. *Physiol Int.* 2016;103(2):243–261. doi: 10.1556/036.103.2016.2.11

44. Korniyakova VV, Konway VD. Changes in the antioxidant status of blood in athletes of cyclic sports from different periods of the training process. *Advances in Current Natural Sciences*. 2015;(1-3):398–400. (In Russ).
45. Djordjevic D, Cubrilo D, Macura M, et al. The influence of training status on oxidative stress in young male handball players. *Mol Cell Biochem*. 2011;351(1-2):251–259. doi: 10.1007/s11010-011-0732-6
46. Nikolaidis MG, Jamurtas AZ. Blood as a reactive species generator and redox status regulator during exercise. *Arch Biochem Biophys*. 2009;490(2):77–84. doi: 10.1016/j.abb.2009.08.015
47. Burgos C, Henríquez-Olguín C, Andrade DC, et al. Effects of exercise training under hyperbaric oxygen on oxidative stress markers and endurance performance in young soccer players: a pilot study. *J Nutr Metab*. 2016;2016:5647407. doi: 10.1155/2016/5647407
48. Elikov AV, Galstyan AG. Antioxidant status in athletes during the performance of dosed physical activity and in the recovery period. *Problems of Nutrition*. 2017;86(2):23–31. (In Russ).
49. Nikityuk DB, Klochkova SV, Rozhkova EA. Sports nutrition: requirements and modern approaches. *Nutrition*. 2014;4(1):40–43. (In Russ).
50. Yashin Ya, Vedenin A, Yashin A. Antioxidants and sports. Main reasons of unsuccessful applications. Possible perspectives. *Sports Medicine: Research and Practice*. 2016;6(1):35–39. (In Russ).
51. Lambrecht M. *Antioxidants in sport nutrition*. CRC Press; 2014. 299 p.
52. Gomez-Cabrera MC, Viña J, Ji LL. Interplay of oxidants and antioxidants during exercise: implications for muscle health. *Phys Sportsmed*. 2009;37(4):116–123. doi: 10.3810/psm.2009.12.1749
53. Kruk J, Aboul-Enein HY, Kladna A, Sulaiman Rahman H. Oxidative stress in biological systems and its relation with pathophysiological functions: the effect of physical activity on cellular redox homeostasis. *Free Radic Res*. 2019;53(5):497–521. doi: 10.1080/10715762.2019.1612059
54. Tan BL, Norhaizan ME, Liew WP, Rahman HS. Antioxidant and oxidative stress: a mutual interplay in age-related diseases. *Front Pharmacol*. 2018;9:1162. doi: 10.3389/fphar.2018.01162
55. Potupchik T, Evert L, Ivanov A. Possibilities of using biologically active additives in athletes under conditions of high sports loads. *Vrach*. 2019;30(10):24–31. (In Russ). doi: 10.29296/25877305-2019-10-05

ОБ АВТОРАХ

* **Корчин Владимир Иванович**, д.м.н., профессор;
адрес: Российская Федерация, 628011, Ханты-Мансийск,
ул. Мира, д. 40;
ORCID: 0000-0002-1818-7550;
eLibrary SPIN: 1430-5770;
e-mail: vikhmgmi@mail.ru

Федорова Елена Петровна, аспирант;
ORCID: 0000-0002-2311-2318;
eLibrary SPIN: 3944-8056;
e-mail: dog-elena.fedorova@yandex.ru

Корчина Татьяна Яковлевна, д.м.н., профессор;
ORCID: 0000-0002-2000-4928;
eLibrary SPIN: 6250-6863;
e-mail: t.korchina@mail.ru

Нехорошева Александра Викторовна,
д.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-0769-1858;
eLibrary SPIN: 4361-6075;
e-mail: av.nehorosheva@hmgma.ru

Нехорошев Сергей Викторович, д.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-9175-2563;
eLibrary SPIN: 7794-7377;
e-mail: sv.nehoroshev@hmgma.ru

AUTHORS' INFO

* **Vladimir I. Korchin**, MD, Dr. Sci. (Med.), professor;
address: 40 Mira street, 628011 Hanty-Mansijsk,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-1818-7550;
eLibrary SPIN: 1430-5770;
e-mail: vikhmgmi@mail.ru

Elena P. Fedorova, graduate student;
ORCID: 0000-0002-2311-2318;
eLibrary SPIN: 3944-8056;
e-mail: dog-elena.fedorova@yandex.ru

Tat'jana Ya. Korchina, MD, Dr. Sci. (Med.), professor;
ORCID: 0000-0002-2000-4928;
eLibrary SPIN: 6250-6863;
e-mail: t.korchina@mail.ru

Aleksandra V. Nehorosheva, Dr. Sci. (Tech.),
associate professor;
ORCID: 0000-0002-0769-1858;
eLibrary SPIN: 4361-6075;
e-mail: av.nehorosheva@hmgma.ru

Sergej V. Nehoroshev, Dr. Sci. (Tech.), associate professor;
ORCID: 0000-0001-9175-2563;
eLibrary SPIN: 7794-7377;
e-mail: sv.nehoroshev@hmgma.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco109241>

Особенности репродуктивного здоровья и репродуктивного поведения девушек, проживающих в Тофаларии

Л.В. Рычкова, Т.А. Астахова, О.В. Бугун, Е.Е. Храмова

Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, Иркутск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Сохранение репродуктивного здоровья подрастающего поколения — одна из основных задач современной медицины. Репродуктивный потенциал девочек-подростков включает в себя ряд показателей: общесоматическую и гинекологическую заболеваемость, уровень физического и полового развития, психосоциальную готовность к половому партнёрству и материнству.

Цель. Изучить состояние репродуктивного здоровья и репродуктивного поведения девушек, проживающих в Тофаларии.

Материал и методы. В обследовании приняли участие 194 девушки 11–17 лет, проживающие в Нижнеудинском районе Иркутской области, из них 58 — представительницы малочисленной этнической группы тофаларов. Проведены анализ учётной медицинской документации; осмотр акушером-гинекологом; взятие клинического материала из урогенитального тракта для микроскопии на инфекции, передаваемые половым путём; расширенная кольпоскопия.

Результаты. Средний возраст наступления менархе у несовершеннолетних составил 11,5–12,0 года. В структуре гинекологической патологии у девочек-тофаларов чаще выявлялись нарушения менструального цикла: олигоменорея и аномальные маточные кровотечения. У них чаще регистрировали задержку полового созревания. Для репродуктивного поведения девушек-тофаларов характерны раннее начало сексуальных отношений; промискуитет; высокий уровень инфекций, передаваемых половым путём; высокая частота незапланированных беременностей.

Заключение. В Иркутской области существует необходимость в разработке и внедрении долгосрочной стратегии по сохранению репродуктивного здоровья несовершеннолетних и молодёжи Иркутской области путём консолидации усилий различных институтов гражданского общества и ведомств на региональном и муниципальном уровнях.

Ключевые слова: девушки-подростки; репродуктивное здоровье; олигоменорея; малые этносы.

Как цитировать:

Рычкова Л.В., Астахова Т.А., Бугун О.В., Храмова Е.Е. Особенности репродуктивного здоровья и репродуктивного поведения девушек, проживающих в Тофаларии // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 353–362. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco109241>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco109241>

Reproductive health and reproductive behavior of adolescent girls in Tofalaria

Lyubov V. Rychkova, Tatiana A. Astahova, Olga V. Bugun, Elena E. Khramova

Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The reproductive potential of adolescent girls includes several parameters, such as general and gynecological morbidity, physical and sexual development, psychosocial readiness for partnership and motherhood. Therefore, it is crucial to consider these parameters when assessing the reproductive capacity of adolescent girls in different settings.

AIM: To study the reproductive health and reproductive behavior of girls residing in Tofalaria.

MATERIAL AND METHODS: A total of 194 girls participated in the study, with 58 of them being Tofalars. These girls were aged between 11 and 17 years old and resided in the Nizhneudinsk district of the Irkutsk region. The study involved analyzing medical records, conducting examinations by an obstetrician-gynecologist, collecting clinical samples from the urogenital tract for microscopy to detect transmitted infections, and performing colposcopy.

RESULTS: The average age of onset of menarche among the study participants was between 11.5 and 12.0 years. Tofalar girls were more likely to experience menstrual cycle disorders such as oligomenorrhea and abnormal uterine bleeding. Additionally, delayed puberty was more commonly observed among Tofalar girls. Reproductive behavior of the Tofalar girls was characterized by early engagement in relationships, promiscuity, high prevalence of sexually transmitted infections, and high proportion of unplanned pregnancies.

CONCLUSION: There is a need to develop and implement a long-term strategy on preserving the reproductive health of adolescents and young people in the Irkutsk region through consolidating the efforts of civil society institutions and governmental agencies at both regional and municipal levels.

Keywords: adolescent girls; reproductive health; oligomenorrhea; ethnic minorities.

To cite this article:

Rychkova LV, Astahova TA, Bugun OV, Khramova EE. Reproductive health and reproductive behavior of adolescent girls in Tofalaria. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):353–362. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco109241>

Received: 08.07.2022

Accepted: 29.06.2023

Published online: 28.08.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Проблема охраны репродуктивного здоровья нации в последнее время приобрела особую медико-социальную значимость на фоне сокращения численности населения страны и ухудшения состояния здоровья детей, подростков и женщин фертильного возраста, что может являться предпосылкой угрозы реализации ими репродуктивной функции [1]. Состояние здоровья девочек-подростков на современном этапе характеризуется замедлением темпов физического развития, увеличением числа девочек с дефицитом массы тела, нарушением становления репродуктивной системы, значительным увеличением доли подростков с хроническими заболеваниями [2, 3]. За последние 10 лет доля абсолютно здоровых девочек уменьшилась с 28,6 до 6,3%. Показатели заболеваемости у девочек в подростковом возрасте на 10–15% выше, чем у мальчиков [4]. Среди девочек подросткового возраста увеличивается уровень гинекологической заболеваемости, выявляемой приблизительно у 20% российских женщин и девушек, наблюдаются изменения сексуального и репродуктивного поведения, приводящие к увеличению числа нежелательных беременностей, росту количества абортс [2, 5]. Частота регистрации инфекций, передаваемых половым путём (ИППП), остаётся на сегодняшний день высокой [6]. Низкий уровень знаний в вопросах репродуктивного здоровья отрицательно влияет на поведение девочек-подростков. Россия в настоящее время занимает одно из лидирующих мест по количеству рождений и абортс среди матерей в возрасте до 20 лет [7].

В указе Президента Российской Федерации «Об утверждении концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года» от 9 октября 2007 года одним из главных принципов является «учёт региональных особенностей демографического развития и дифференцированный подход к разработке и реализации региональных программ, в том числе направленных на сохранение репродуктивного здоровья подрастающего поколения» [8].

Иркутская область — крупный по площади субъект Российской Федерации. По состоянию на 01.01.2022 численность населения Иркутской области составила 2357,1 тыс. человек, что на 270 тыс. человек меньше по сравнению с данными на 01.01.2012 г. [9]. По данным Иркутскстата, на 1 января 2022 года в регионе проживало 577 605 детей и подростков, что составило 24,3% от численности населения Иркутской области [9]. Самой многочисленной возрастной группой явились дети до 14 лет — 494 970 человек, а удельный вес подростков 15–17 лет в структуре населения региона составил 18,9% (82 635 человек). При анализе возрастной структуры девочек выявлено, что самой малочисленной является группа девушек 15–17 лет — 18,9% (данные по другим возрастам: до 4 лет — 26,2%, 5–9 лет — 31,6%, 10–14 лет — 27,9%). В сравнении с 2020 годом уменьшилось

количество девочек в группе до 4 лет, незначительно увеличилось количество девочек 15–17 лет (+3,5%).

Иркутская область является сложным по социально-географическому положению регионом: её территория составляет 774,8 тыс. км² (4,6% территории России); плотность населения — 3,1 человека на 1 км² [9]. По данным Всероссийской переписи населения за 2010 год, в Иркутской области проживают 37 национальностей.

Тофалария находится на территории Нижнеудинского района Иркутской области в центральной части Восточных Саян. Это исконная территория проживания коренного малочисленного народа — тофаларов, внесённого в Единый перечень коренных малочисленных народов России с 2000 года [10]. Тофалария — труднопроходимая местность, где около 90% территории занимают среднегорные таёжные ландшафты, остальная часть представляет собой горную тундру, практически непригодную для постоянного проживания людей [11]. Коренные малочисленные народы Восточной Сибири, проживающие в отдалённых населённых пунктах со сложной развитой инфраструктурой, испытывают затруднения в медицинском обслуживании детского и взрослого населения. Своеобразие традиций коренного населения требует особого внимания и комплексного исследования во всех областях жизнедеятельности. Небольшая численность населения, увеличение числа смешанных браков — всё это создаёт определенные предпосылки для интенсивной метисации, ускорения ассимилятивных процессов [12]. Основное внимание в решении демографического кризиса уделяется охране репродуктивного здоровья подростков, особенно из числа коренных и малочисленных народов России.

Цель исследования. Изучение состояния репродуктивного здоровья и репродуктивного поведения девушек, проживающих в Тофаларии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 194 девушки 11–17 лет, проживающие в п. Алыгджере Нижнеудинского района Иркутской области, из них 58 девушек-тофаларов (33/56,8% — в возрастной группе 11–14 лет и 25/43,1% — в возрастной группе 15–17 лет) и 136 девушек-европеоидов (31/22,8% — в возрастной группе 11–14 лет и 105/77,2% — 15–17 лет). Основная причина неучастия в исследовании 14 девушек (7,2%) — отсутствие в день проведения медицинского осмотра в школе.

Проведена выкопировка из амбулаторных карт (ф. 112). По результатам медицинского обследования выполнен анализ заболеваемости в соответствии с Международной классификацией болезней 10-го пересмотра (МКБ-10) [13]. Проведены физикальное обследование, расчёт индекса массы тела, оценка полового развития (возраст менархе, ритмичность менструаций), гинекологический осмотр. Уровень полового развития оценивали с использованием половой формулы (по Таннеру), которая

включала в себя следующие показатели: развитие молочных желёз — Ма, лонное оволосение — Р, подмышечное оволосение — Ах и возраст менархе — Ме [14]. Изучено становление менструальной функции у девочек в возрасте 11–17 лет: возраст менархе, длительность установления ритма менструации, продолжительность менструального цикла, продолжительность менструации, интенсивность кровопотери, наличие болевого синдрома. Кровопотерю оценивали как скудную при объёме выделений менее 50 мл за сутки, как нормальную — 50–80 мл, объём выделений более 80 мл считали обильными маточными кровотечениями [15]. Выраженность болевых ощущений в молочных железах оценивали по 10-балльной визуально-аналоговой шкале: 0 баллов — отсутствие боли, 1–3 — боль лёгкой степени, 4–6 — боль умеренной степени, 7–9 — боль выраженной интенсивности, 10 баллов — очень сильная боль [16].

У всех девушек выполнено взятие клинического материала из урогенитального тракта для микроскопии на ИППП (хламидии, микоплазмы, вирус папилломы человека (ВПЧ) 16-го, 18-го типа), на онкоцитологию. Проведена также расширенная кольпоскопия.

В работе с группами детей и подростков соблюдались этические принципы, сформулированные в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (World Medical Association Declaration of Helsinki, 2013). Исследование одобрено Этическим комитетом ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека» (протокол № 9 от 08.10.2014). Информированное добровольное согласие на участие в исследовании и обработку персональных данных получено непосредственно от пациентов в возрасте 15 лет и старше либо от законных

представителей пациентов (родители или опекуны) в возрасте менее 15 лет.

Статистическая обработка. Анализ полученных данных проведён с использованием пакета статистических программ Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США). Результаты представлены в виде среднего значения (М) и ошибки среднего арифметического (m). Для оценки различий между двумя независимыми группами использовали двухвыборочный t-тест Стьюдента при выполнении условий — согласия эмпирического распределения выборок с нормальным распределением и равенства дисперсий в группах. При проверке статистических гипотез критический уровень значимости принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе оценки полового развития у 11–14-летних девочек-тофаларов в 2 раза чаще, чем у девочек-европеоидов, выявлена задержка полового созревания. Возраст наступления первой менструации (менархе) в группах не имел статистически значимых различий и составил 11 лет. Нарушения менструального цикла диагностировали при его продолжительности ≥ 45 или ≤ 20 дней. В структуре гинекологической патологии у девочек-тофаларов во всех возрастных группах статистически значимо чаще выявляли нарушения менструального цикла, в том числе олигоменорею и аномальные маточные кровотечения. В то же время нейроэндокринный синдром и мастодинию регистрировали статистически значимо чаще у девушек-европеоидов (табл. 1, 2).

Репродуктивное поведение девушек-тофаларов характеризовалось ранним началом половой жизни,

Таблица 1. Нарушения менструального цикла у 11–14-летних девушек-тофаларов и девушек-европеоидов, *n* (%)

Table 1. Menstrual disorders among 11–14 years old Tofalar and Caucasian girls, *n* (%)

Нарушение	Девушки-тофалары Tofalars (<i>n</i> =33)	Девушки-европеоиды Caucasians (<i>n</i> =31)	<i>p</i>
Дисменорея Dysmenorrhea	12 (36,4)	10 (32,2)	0,73
Другие нарушения менструального цикла Other menstrual disorders	15 (45,5)	11 (35,4)	0,58
Задержка полового созревания Delayed puberty	8 (24,2)	4 (12,9)	0,4

Таблица 2. Нарушения менструального цикла и нейроэндокринные синдромы у 15–17-летних девушек-тофаларов и девушек-европеоидов, *n* (%)

Table 2. Menstrual disorders and neuroendocrine syndromes among 15–17 years old Tofalar and Caucasian girls, *n* (%)

Нарушение менструального цикла и нейроэндокринные синдромы Menstrual disorder and neuroendocrine syndromes	Девушки-тофалары Tofalars (<i>n</i> =25)	Девушки-европеоиды Caucasians (<i>n</i> =105)	<i>p</i>
Дисменорея Dysmenorrhea	5 (20,0)	22 (20,9)	0,9
Олигоменорея Oligomenorrhea	10 (40,0)	15 (14,3)	0,004
Дисфункция гипоталамуса Hypothalamus dysfunction	1 (4,0)	36 (34,3)	0,003
Мастодиния Mammalgia	3 (12,0)	45 (42,8)	0,005

высоким уровнем ИППП. Кроме того, высокая частота распространённости эктопии цилиндрического эпителия на эктоцервиксе часто сочеталась с воспалительным процессом и ИППП. Всё это может быть обусловлено прежде всего особенностями репродуктивного поведения. При анализе репродуктивного поведения девушек в возрасте 15–17 лет, проживающих в данной местности, установлено, что сексуально активный образ жизни чаще вели девушки-тофалары и средний возраст начала сексуальных отношений у них был более ранний, чем у сверстниц-европеоидов. По данным опроса, одного постоянного полового партнёра статистически значимо чаще имели девушки-европеоиды, в то время как девушки-тофалары имели более двух половых партнёров (табл. 3).

При гинекологическом осмотре у 1,7% исследуемых девушек-тофаларов выявлена цервикальная интраэпителиальная неоплазия 1-го типа, у 6,9% девушек — цервицит, статистически значимо чаще выявлялись такие ИППП, как трихомониаз и хламидиоз, а также был обнаружен ВПЧ — маркер высокого онкогенного риска (табл. 4). Эти девушки составляют группу высокого риска не только по заболеваниям, передаваемым половым путём, но и по патологии половой системы, что может затруднить полноценную реализацию репродуктивного потенциала [17].

При анализе анкет выявлено, что 35,3% обследованных девушек не применяют методы контрацепции, 26,2% пользуются ненадёжными методами (coitus interruptus), причём использовали контрацепцию преимущественно девушки-европеоиды. Установлено, что средний возраст наступления беременности у девочек-тофаларов составил $15,6 \pm 1,6$ года. У четырёх из 25 девушек 15–17 лет (16,0%)

беременность была прервана до 12 нед, у одной — завершилась родами.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время важными факторами, влияющими на репродуктивный потенциал молодёжи, являются рисковое сексуальное поведение, рост числа заболеваний репродуктивной системы, низкий уровень знаний о методах контрацепции [18]. Формирование репродуктивной системы начинается в антенатальный период, дальнейшее развитие происходит в детском и подростковом периодах. Вместе с этим закладываются и формируются основы здорового образа жизни, элементы репродуктивного поведения, отношение к семейно-брачным вопросам. Существуют этнические особенности сексуального поведения, физического, полового развития, заболеваний репродуктивной системы, гормонально-метаболических нарушений [19]. Современных подростков как в России, так и за рубежом отличают ранний сексуальный дебют и достаточно высокая сексуальная активность и при этом — низкий уровень знаний о современных методах контрацепции [20].

Половое развитие — это сложный биологический процесс, имеющий в своей основе комплекс наследственных, конституциональных, этнических и средовых факторов [21]. Среди факторов, влияющих на реализацию репродуктивного потенциала девочек, наиболее значимыми служат гинекологическая заболеваемость, дисгармоничность роста и развития, неблагоприятные социально-гигиенические условия проживания [1].

Таблица 3. Характеристики сексуального поведения среди исследуемых девушек 15–17 лет

Table 3. Reproductive behavior among 15–17 years old girls

Характеристика Characteristic	Девушки-тофалары Tofalars (n=25)	Девушки-европеоиды Caucasians (n=105)	p
Сексуальный дебют, лет Age of sexual debut, years	14,6±0,6	16,2±0,4	—
Количество партнеров ≤2 ≤2 sexual partners, n (%)	7 (28,0)	59 (56,2)	0,004
Количество партнеров >2 >2 sexual partners, n (%)	15 (60,0)	46 (43,8)	0,1
Считали приемлемыми добрачные сексуальные отношения Accept premarital sex, n (%)	23 (92,0)	24 (22,8)	<0,001

Таблица 4. Структура инфекций, передаваемых половым путём, среди исследуемых девушек 15–17 лет, n (%)

Table 4. Sexually transmitted infections among 15–17 years old girls, n (%)

Инфекции, передаваемые половым путём Sexually transmitted infections	Девушки-тофалары Tofalars (n=25)	Девушки-европеоиды Caucasians (n=10)	p
Кандидозный вагинит Vaginal candidiasis	6 (24,0)	9 (8,5)	0,031
Урогенитальный трихомониаз Urogenital trichomoniasis	5 (20,0)	16 (15,2)	0,561
Хламидиоз Chlamydiosis	6 (24,0)	6 (5,7)	0,005
Бактериальный вагиноз Bacterial vaginosis	11 (44,0)	16 (15,2)	0,002
Вирус папилломы человека (16-, 18-й типы) Human papilloma virus (Serotypes 16, 18)	15 (60,0)	19 (18,1)	<0,001

Характерная особенность репродуктивного здоровья современных девочек-подростков — высокая распространённость нарушений становления менструального цикла. Самым значимым признаком полового созревания у девочек является возраст наступления первой менструации [2]. Средний возраст наступления первой менструации у обследованных нами девушек-тофаларов ($11,5 \pm 1,1$ года) был меньше такового ($13,9 \pm 0,5$ года) у школьниц республики Тыва [22]. Средний возраст менархе у девочек-хакасов в исследовании В.С. Гладкой и В.Л. Грицинской [23] также превышал полученный в нашем исследовании и составлял $12,88 \pm 0,04$ года, у девочек-европеоидов — $12,85 \pm 0,05$ года.

В публикациях последних лет показано значительное ускорение полового развития несовершеннолетних, что может являться фактором, приводящим к ранней сексуальной активности [6]. Средний возраст сексуального дебюта на территории России в последнее время колеблется от 15,8 до 16,2 года [1, 24], что соответствует и данным зарубежных исследователей [25, 26]. Раннему началу половой жизни способствует и изменение сексуальной морали: большая часть подростков в возрасте до 18 лет толерантно относятся к вопросам половой жизни вне брака.

По данным ВОЗ, более 376 млн человек в возрасте от 15 лет болевают ИППП ежегодно [27]. Высокий уровень ИППП обусловлен разными факторами: личными поведенческими (раннее начало половой жизни, большое количество партнёров); социальными (отсутствие родительского контроля, низкий уровень доверительности отношений подростка и родителей); биологическими [21]. ИППП в большинстве случаев у подростков протекает с осложнениями со стороны органов репродуктивной системы, что ведёт к нарушению репродуктивной функции [28]. Папилломавирусная инфекция является причиной более половины всех онкологических заболеваний у женщин, обусловленных инфекцией. До 70–80% сексуально активного населения инфицируется ВПЧ в течение жизни [29]. Так, среди обследованных школьниц Московской области у 50,2% сексуально активных девочек выявлен ВПЧ высокого канцерогенного риска [30]. Доля положительных результатов составила в Санкт-Петербурге и Республике Карелии 31,5 и 35,0% соответственно [31], в то время как среди обследуемых нами девушек частота выявления ВПЧ составляет 60,0%. Хламидийная инфекция — ещё одна из самых распространённых ИППП. Среди девушек США в возрастной когорте старше 15 лет хламидиоз является одной из самых распространённых инфекций [32]. Среди российских подростков урогенитальная хламидийная инфекция занимает второе место в структуре всех ИППП [33]. У исследуемых нами девушек статистически значимо чаще хламидийная инфекция выявлена среди представительниц малочисленной народности тофаларов. Высокая частота распространённости не только хламидийной инфекции, но и трихомониаза среди подростков вызывает озабоченность у врачей, поскольку это

заболевание зачастую ассоциировано с ВИЧ-инфекцией, а также с развитием осложнений во время беременности [21]. Раннее начало половой жизни, плохая осведомлённость о методах контрацепции и о заболеваниях, передаваемых половым путём, увеличивают риск наступления нежелательной беременности, которая в большинстве случаев заканчивается абортom, а в случае принятия решения её вынашивать велика вероятность возникновения осложнений, что отмечено у 90% юных женщин [34, 35]. Обилие информации на сексуальную тему в средствах массовой информации может способствовать увеличению распространённости рискованного поведения среди несовершеннолетних [36]. В вопросах предупреждения ранних беременностей большое значение придаётся репродуктивному просвещению [37]. основополагающая роль отводится родителям девочек-подростков, школе, медицинским работникам, социальным и государственным учреждениям. Подобные совместные усилия как на национальном, так и на местном уровне доказали свою эффективность в снижении сексуальной активности и частоты наступления беременности у несовершеннолетних [38, 39].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарушения менструального цикла и задержка полового развития выявлены во всех возрастных группах обследуемых (у девушек-тофаларов чаще, чем у девушек-европеоидов). Состояние шейки матки у этих девушек-подростков характеризуется высокой распространённостью эктопии цилиндрического эпителия на эктоцервиксе, часто сочетающейся с воспалительным процессом и ИППП, что обусловлено прежде всего особенностями репродуктивного поведения.

В Иркутской области существует необходимость в разработке и внедрении долгосрочной стратегии по сохранению репродуктивного здоровья несовершеннолетних и молодёжи Иркутской области путём консолидации усилий различных институтов гражданского общества и ведомств на региональном и муниципальном уровнях. Необходимо отдавать приоритет комплексным профилактическим мерам, к которым относятся программы предоставления медико-санитарной информации, просвещения и укрепления здоровья подростков.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Л.В. Рычкова внесла существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, утвердила окончательный вариант статьи; О.В. Бугун внесла существенный вклад в анализ данных, участвовала в подготовке окончательного варианта статьи; Е.Е. Храмова участвовала в получении и интерпретации данных, подготовила первоначальный вариант статьи; Т.А. Астахова участвовала в получении и интерпретации данных, подготовила первоначальный вариант статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли

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

Источники финансирования. Публикация поддержана из средств гранта, полученного Научно-исследовательским центром медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике, филиала Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (НИЦ МБП КНЦ РАН) по теме «The contribution of reproductive health and the quality of the Arctic environment to the wellbeing of the Kola Sami» от Международного арктического научного комитета (IASC) из фонда рабочей группы по социальным и гуманитарным проблемам (SHWG) при одобрении группы Международной научной инициативы в Российской Арктике (ISIRA).

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. L.V. Rychkova made a significant contribution to the development of the concept and design of the study, approved

the final version of the article. T.A. Astahova participated in the collection and interpretation of the data and drafting of the manuscript. O.V. Bugun made a significant contribution to the analysis of the data and participated in the writing of the final version of the article. E.E. Khranova participated in data collection and interpretation, drafted the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding sources. This publication was supported by the grant "Contribution of reproductive health and the quality of the Arctic environment to the wellbeing of the Kola Sami" from the International Arctic Scientific Committee (IASC) from the fund of the Working Group on Social and Humanitarian Problems (SHWG) upon approval of the group of the International Scientific Initiative in the Russian Arctic (ISIRA). The grant was awarded to the Research Center for Biomedical Problems of Human Adaptation in the Arctic, a branch of the Federal Research Center "Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (SIC MBP KNC RAS).

Competing interests. The authors declare no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чечулина О.В., Давлятшина Л.Р. Влияние соматической патологии на репродуктивное здоровье девочек-подростков // Репродуктивное здоровье детей и подростков. 2020. Т. 16, № 1. С. 116–127. doi: 10.33029/1816-21342020-16-1-116-127
2. Герасимова Л.И., Денисов М.С., Шувалова Н.В., Сидорова Т.Н. Репродуктивное здоровье девушек студенток — как медико-социальная проблема // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 6. С. 12–15.
3. Максимова Т.М., Лушкина Н.П. Физическое развитие детей России: определение путей оценки и выявления проблемных ситуаций в росте и развитии подрастающего поколения // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2013. № 4. С. 3–6.
4. Абилхас А.А., Апен Н.М., Шамсутдинова А.Г., Жунисбекова Ж.А. Проблемы репродуктивного здоровья среди молодежи и подростков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 8-4. С. 519–521.
5. Джамалудинова А.Ф., Гонян М.М. Репродуктивное здоровье населения России // Молодой учёный. 2017. № 14-2. С. 10–13.
6. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Терлецкая Р.Н., и др. Результаты профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних в Российской Федерации // Российский педиатрический журнал. 2016. Т. 19, № 5. С. 287–293. doi: 10.18821/1560-9561-2016-19(5)-287-293
7. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Альбицкий В.Ю., и др. Состояние и проблемы здоровья подростков в России // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2014. Т. 22, № 6. С. 10–14.
8. Концепция демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года (утв. Указом Президента РФ от 9 октября 2007 г. N 1351). Режим доступа: <https://base.garant.ru/191961/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> Дата обращения: 28.03.2022.
9. Федеральная служба государственной статистики [интернет]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/> Дата обращения: 28.03.2022.
10. Постановление Правительства РФ от 24 марта 2000 г. № 255 «О Едином перечне коренных малочисленных народов Российской Федерации». Режим доступа: <https://base.garant.ru/181870/> Дата обращения: 28.03.2022.
11. Тофалария [интернет]. Режим доступа: <http://irkipedia.ru/content/tofalariya>. Дата обращения: 29.12.2022.
12. Долгих В.В., Рычкова Л.В., Мандзяк Т.В. Состояние здоровья детского населения в связи с сочетанным воздействием факторов окружающей среды // Вопросы современной педиатрии. 2005. Т. 4, № S1. С. 154.
13. МКБ-10 [интернет]. Режим доступа: <https://mkb-10.com/> Дата обращения 29.12.2022.
14. Петеркова В.А., Нагаева Е.В., Ширяева Т.Ю. Оценка физического развития детей и подростков: методические рекомендации. Москва : Российская ассоциация эндокринологов, 2017.
15. Уварова Е.В. Аномальные маточные кровотечения пубертатного периода // Репродуктивное здоровье детей и подростков. 2018. № 1. С. 64–91.
16. Crichton N. Information point: Visual Analogue Scale (VAS) // Am Clin Nurs. 2001. Vol. 10, N 5. P. 706.
17. Строзенко Л.А., Клименов Л.Н., Лобанов Ю.Ф. Репродуктивное поведение современных девушек-подростков и уровень их соматического здоровья // Мать и дитя в Кузбассе. 2011. № 4. С. 43–46.
18. Уварова Е.В., Коломейцев М.Г., Радченко М.В. Правовые аспекты охраны репродуктивного здоровья несовершеннолетних по профилю «акушерство и гинекология» в Российской Федерации // Репродуктивное здоровье детей и подростков. 2022. Т. 18, № 1. С. 16–33. doi: 10.33029/1816-2134-2022-18-1-16-33

19. Лобыгина А.В., Колесникова Л.И., Гребенкина Л.А., и др. Сохранение ретинола и репродуктивные нарушения у жителей Восточной Сибири (обзор литературы) // *Экология человека*. 2018. Т. 25, № 4. С. 51–58.
20. Семятов С.М. Репродуктивное здоровье девушек-подростков Московского мегаполиса в современных социально-экономических и экологических условиях: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Москва, 2009.
21. Михайлин Е.С., Иванова Л.А., Савицкий А.Г., Берлев И.В. Особенности репродуктивного здоровья современных девочек-подростков (аналитический обзор) // *Репродуктивное здоровье детей и подростков*. 2015. № 2. С. 63–72.
22. Грицинская В.Л. Особенности репродуктивного здоровья девочек коренного населения Республики Тыва // *Акушерство и гинекология*. 2011. № 2. С. 114–117.
23. Гладкая В.С., Грицинская В.Л. Характеристика полового развития девочек-подростков коренного и пришлого населения Республики Хакасия // *Репродуктивное здоровье детей и подростков*. 2015. № 2. С. 58–62.
24. Коколина В.Ф. Детская и подростковая гинекология: руководство для врачей. Москва: Медпрактика-М, 2012.
25. Ege E., Akin B., Kultur R., Arioz A. The attitudes towards and behaviours about sexual and reproductive health in university students // *The Europ J of Contraception & Reproductive Health Care*. 2008. Vol. 13, Suppl. 2. P. 70.
26. Хломов К.Д., Бочавер А.А. Рискованное сексуальное поведение в подростковом возрасте: обзор исследований // *Психология и право*. 2021. Т. 11, № 3. С. 15–32. doi: 10.17759/psylaw.2021110302
27. <https://www.who.int/ru/> [интернет]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Каждый день более 1 миллиона человек заражаются излечимыми инфекциями, передаваемыми половым путем. Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news/item/06-06-2019> Дата обращения 29.10.2022.
28. Шашкова А.А. Оптимизация оказания специализированной медицинской помощи подросткам, больным инфекциями, передаваемыми половым путем, в Астраханской области: дис. ... канд. мед. наук. Астрахань, 2018.
29. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Таточенко В.К., и др. Вакцинопрофилактика заболеваний, вызванных вирусом папилломы человека: позиции доказательной медицины. Обзор клинических рекомендаций // *Вопросы современной педиатрии*. 2017. Т. 16, № 2. С. 107–117. doi: 10.15690/vsp.v16i2.1711
30. Зароченцева Н.В., Белая Ю.М. Гинекологическая заболеваемость девочек в Московской области в период проведения программы вакцинопрофилактики папилломавирусной инфекции // *Доктор.Ру*. 2021. Т. 20, № 8. С. 23–27. doi: 10.31550/1727-2378-2021-20-8-23-27
31. Лялина Л.В. Эпидемиологические закономерности злокачественных новообразований, ассоциированных с хроническими вирусными инфекциями, и развитие системы эпидемиологического надзора: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Санкт-Петербург, 2005.
32. Beharry M.S., Shafii T., Burstein G.R. Diagnosis and treatment of chlamydia, gonorrhoea, and trichomonas in adolescents // *Pediatr Ann*. 2013. Vol. 42, N 2. P. 26–33. doi: 10.3928/00904481-20130128-09
33. Паренкова И.А., Коколина В.Ф., Добренко В.А., и др. Репродуктивное поведение и качество жизни студентов, обучающихся в медицинском вузе // *Репродуктивное здоровье детей и подростков*. 2010. № 4. С. 81–90.
34. Gottlieb S.L., Xu F., Brunham R.C. Screening and treating Chlamydia trachomatis genital infection to prevent pelvic inflammatory disease: interpretation of findings from randomized controlled trials // *Sex Transm Dis*. 2013. Vol. 40, N 2. P. 97–102. doi: 10.1097/OLQ.0b013e31827bd637
35. Borges-Costa J., Matos C., Pereira F. Sexually transmitted infections in pregnant adolescents: prevalence and association with maternal and foetal morbidity // *Am J Eur Acad Dermatol. Venereol*. 2012. Vol. 26, N 8. P. 972–975. doi: 10.1111/j.1468-3083.2011.04194.x
36. Berlan E.D., Holland-Hall C. Sexually transmitted infections in adolescents: advances in epidemiology, screening, and diagnosis // *Adolesc Med State Art Rev*. 2010. Vol. 21, N 2. P. 332–346.
37. Ипполитова М.Ф., Михайлин Е.С., Иванова Л.А. Медико-социальная помощь несовершеннолетним при беременности, родах и в послеродовом периоде // *Педиатр*. 2018. Т. 9, № 5. С. 75–93. doi: 10.17816/PED9575-93
38. Сироткина Е.С. Проблемы несовершеннолетних матерей как социальной группы // *Youth World Politic*. 2014. № 1. С. 95–101.
39. Swartzendruber A., Zenilman J.M., Nicolai L.M. It takes 2: partner attributes associated with sexually transmitted infections among adolescents // *Sex Transm Dis*. 2013. Vol. 40, N 5. P. 372–378. doi: 10.1097/OLQ.0b013e318283d2c9

REFERENCES

1. Chechulina OV, Davlyatshina LR. Effects of somatic pathology on adolescent girls' reproductive health. *Pediatric and Adolescent Reproductive Health*. 2020;16(1):116–127. (In Russ). doi: 10.33029/1816-21342020-16-1-116-127
2. Gerasimova LI, Denisov MS, Shuvalova NV, Sidorova TN. Reproductivnoe zdorov'e devushek studentok — kak mediko-sotsial'naya problema. *Modern problems of science and education*. 2015;(6):12–15. (In Russ).
3. Maksimova TM, Lushkina NP. The physical development of children in Russia: the specification of means to evaluate and identify the problematic situation in process of growing and development of oncoming generation. *Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine, Russian Journal*. 2013;(4):3–7. (In Russ).
4. Abilkhass AA, Apen NM, Shamsutdinova AG, Zhunisbekova ZhA. Youth and adolescents reproductive health. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy*. 2016;(8-4):519–521. (In Russ).
5. Dzhamaludinova AF, Gonjan MM. Reproductivnoe zdorov'e naselenija Rossii. *Molodoj uchenyj*. 2017;(14-2):10–13. (In Russ).
6. Baranov AA, Namazova-Baranova LS, Terlecckaya RN, et al. Results of preventive medical examinations of minors in the Russian Federation. *Russian Pediatric Journal*. 2016;19(5):287–293. (In Russ).

7. Baranov AA, Namazova-Baranova LS, Albitskii VYu, et al. The condition and problems of adolescents' health of Russia. *Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine, Russian Journal*. 2014;22(6):10–14. (In Russ).
8. *Concept of Demographic Policy of the Russian Federation for the period up to 2025 (approved by the Decree of the President of the Russian Federation dated 9 October 2007 N 1351)*. Available from: <https://base.garant.ru/191961/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (In Russ).
9. Russian Federal State Statistics Service [Internet]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/> (In Russ).
10. Russian Government Decree No. 255 of 24 March 2000 "On the Unified List of Indigenous Minorities of the Russian Federation". Available from: <https://base.garant.ru/181870/> (In Russ).
11. *Tofalariya* [Internet]. Available from: <https://irkipedia.ru/content/tofalariya> (In Russ).
12. Dolgih VV, Rychkova LV, Mandzjak TV. Sostojanie zdorov'ja detskogo naselenija v svjazi s sochetannym vozdeystviem faktorov okruzhajushhej sredy. *Current Pediatrics (Moscow)*. 2005;4(S1):154. (In Russ).
13. <https://mkb-10.com/> [Internet]. *MKB-10*. Available from: <https://mkb-10.com/> (In Russ).
14. Peterkova VA, Nagaeva EV, Shirjaeva TJu. *Ocenka fizicheskogo razvitiya detej i podrostkov: metodicheskie rekomendacii*. Moscow: Rossijskaja asociacija jendokrinologov; 2017. (In Russ).
15. Uvarova EV. Abnormal uterine bleeding in puberty. *Pediatric and Adolescent Reproductive Health*. 2018;(1):64–91. (In Russ).
16. Crichton N. Information point: Visual Analogue Scale (VAS). *J Clin Nurs*. 2001;10(5):706.
17. Strozenko LA, Klimenov LN, Lobanov YuF. Reproductive behavior of modern girls-teenagers and level of their somatic health. *Mother and Baby in Kuzbass*. 2011;(4):43–46. (In Russ).
18. Uvarova EV, Kolomeitsev MG, Radchenko MV. Legal aspects of the protection of the reproductive health of minors in the profile «obstetrics and gynecology» in the Russian Federation. *Pediatric and Adolescent Reproductive Health*. 2022;18(1):16–33. (In Russ). doi: 10.33029/1816-2134-2022-18-1-16-33
19. Labygina AV, Kolesnikova LI, Grebenkina LA, et al. Retinol content and reproductive disorders in residents of eastern siberia (literature review). *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2018;25(4):51–58. (In Russ).
20. Semyatov SM. *Reproduktivnoe zdorov'e devushek-podrostkov Moskovskogo megapolisa v sovremennykh sotsial'no-ekonomicheskikh i ekologicheskikh usloviyakh* [dissertation]. Moscow; 2009. (In Russ).
21. Mikhaylin ES, Ivanova LA, Savitsky AG, Berlev IV. Features of reproductive health of modern adolescent girls (analytical review). *Pediatric and Adolescent Reproductive Health*. 2015;(2):63–72. (In Russ).
22. Gritsinskaya VL. The reproductive health of native girls in the republic of Tyva. *Obstetrics and Gynecology*. 2012;(2):114–117. (In Russ).
23. Gladkaya VS, Gritsinskaya VL. Characteristics of sexual development of adolescent girls native and alien population of the republic of Khakassia. *Pediatric and Adolescent Reproductive Health*. 2015;(2):58–62. (In Russ).
24. Kokolina VF. *Detskaya i podrostkovaya ginekologiya: rukovodstvo dlya vrachei*. Moscow: Medpraktika-M; 2012. (In Russ).
25. Ege E, Akin B, Kultur R, et al. The attitudes towards and behaviours about sexual and reproductive health in university students. *The Europ J of Contraception & Reproductive Health Care*. 2008;13 suppl. 2:70.
26. Khlomov KD, Bochaver AA. Risky sexual behavior in adolescence: studies overview. *Psychology and Law*. 2021;11(3):15–32. (In Russ). doi: 10.17759/psylaw.2021110302
27. [https://www.who.int/ru/news/item/06-06-2019-Vsemirnaya-organizaciya-zdravoohraneniya-\(VOZ\)-Kazhdyy-den-bolee-1-milliona-chelovek-zarazhayutsya-izlechimyimi-infekciyami,-peredavaemyimi-polovym-putem](https://www.who.int/ru/news/item/06-06-2019-Vsemirnaya-organizaciya-zdravoohraneniya-(VOZ)-Kazhdyy-den-bolee-1-milliona-chelovek-zarazhayutsya-izlechimyimi-infekciyami,-peredavaemyimi-polovym-putem). Available from: www.who.int/ru/news/item/06-06-2019 (In Russ).
28. Shashkova AA. *Optimizatsiya okazaniya spetsializirovannoi meditsinskoi pomoshchi podrostkam, bol'nyim infektsiyami, peredavaemyimi polovym putem, v Astrakhanskoi oblasti* [dissertation]. Astrakhan'; 2018. (In Russ).
29. Baranov AA, Namazova-Baranova LS, Tatochenko VK, et al. Vaccinal prevention of the diseases caused by human papillomavirus: evidence-based medicine. Review of clinical guidelines. *Current Pediatrics (Moscow)*. 2017;16(2):107–117. (In Russ). doi: 10.15690/vsp.v16i2.1711
30. Zarchentseva NV, Belaya YuM. Gynaecological morbidity in girls in Moscow region within the context of the preventive vaccination against papilloma viral infection. *Doctor.Ru*. 2021;20(8):23–27. (In Russ). doi: 10.31550/1727-2378-2021-20-8-23-27
31. Lyalina LV. *Epidemiologicheskie zakonomernosti zlokachestvennykh novoobrazovaniy, assotsirovannykh s khronicheskimi virusnymi infektsiyami, i razvitie sistemy epidemiologicheskogo nadzora* [dissertation]. Saint Petersburg; 2005. (In Russ).
32. Beharry MS, Shafii T, Burstein GR. Diagnosis and treatment of chlamydia, gonorrhoea, and trichomonas in adolescents. *Pediatr Ann*. 2013;42(2):26–33. doi: 10.3928/00904481-20130128-09
33. Parenkova IA, Kokolina VF, Dobrenko VA. Reproductivnoe povedenie i kachestvo zhizni studentov, obuchayushchikhsya v meditsinskom vuze. *Pediatric and Adolescent Reproductive Health*. 2010;(4):81–90. (In Russ).
34. Gottlieb SL, Xu F, Brunham RC. Screening and treating Chlamydia trachomatis genital infection to prevent pelvic inflammatory disease: interpretation of findings from randomized controlled trials. *Sex Transm Dis*. 2013;40(2):97–102. doi: 10.1097/OLQ.0b013e31827bd637
35. Borges-Costa J, Matos C, Pereira F. Sexually transmitted infections in pregnant adolescents: prevalence and association with maternal and foetal morbidity. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2012;26(8):972–975. doi: 10.1111/j.1468-3083.2011.04194.x
36. Berlan ED, Holland-Hall C. Sexually transmitted infections in adolescents: advances in epidemiology, screening, and diagnosis. *Adolesc Med State Art Rev*. 2010;21(2):332–346.
37. Ippolitova MF, Mikhaylin ES, Ivanova LA. Health and social care of minors in pregnancy, childbirth and the postpartum period. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2018;9(5):75–93. (In Russ). doi: 10.17816/PED9575-93
38. Sirotkina E. Problems of minor mothers as social group. *Youth World Politic*. 2014;(1):95–101. (In Russ.)
39. Swartzendruber A, Zenilman JM, Niccolai LM, et al. It takes 2: partner attributes associated with sexually transmitted infections among adolescents. *Sex Transm Dis*. 2013;40(5):372–378. doi: 10.1097/OLQ.0b013e318283d2c9

ОБ АВТОРАХ

* **Рычкова Любовь Владимировна**, д.м.н., профессор,
член-корреспондент РАН;
адрес: Российская Федерация, 664003, Иркутск,
ул. Тимирязева, д. 16;
ORCID: 0000-0003-2910-0737;
eLibrary SPIN: 1369-6575;
e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

Астахова Татьяна Александровна, к.м.н.;
ORCID: 0000-0003-1427-4734;
eLibrary SPIN: 3596-8613;
e-mail: tatjana_astahova@mail.ru

Бугун Ольга Витальевна, д.м.н.;
ORCID: 0000-0002-2162-3683;
eLibrary SPIN: 3542-0667;
e-mail: clinica@irk.ru

Храмова Елена Евгеньевна, к.м.н.;
ORCID: 0000-0002-8042-627;
eLibrary SPIN: 9419-2032;
e-mail: aelita-82@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Lyubov V. Rychkova**, MD, Dr. Sci. (Med.), professor,
associate member of the Russian Academy of Sciences;
address: 16 Timirjazeva street, 664003 Irkutsk,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0003-2910-0737;
eLibrary SPIN: 1369-6575;
e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

Tatiana A. Astahova, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0003-1427-4734;
eLibrary SPIN: 3596-8613;
e-mail: tatjana_astahova@mail.ru

Olga V. Bugun, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-2162-3683;
eLibrary SPIN: 3542-0667;
e-mail: clinica@irk.ru

Elena E. Khramova, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-8042-627;
eLibrary SPIN: 9419-2032;
e-mail: aelita-82@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217703>

Содержание селена в волосах населения Республики Молдова

М.В. Капитальчук¹, Н.А. Голубкина², И.П. Капитальчук¹¹ Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, Тирасполь, Республика Молдова;² Федеральный научный центр овощеводства, Московская область, Одинцово, пос. ВНИИССОК, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Экосистемы Республики Молдова характеризуются высоким содержанием эссенциального элемента селена (Se), однако данные по его концентрации в волосах населения этой страны отсутствуют.

Цель. Провести количественную оценку содержания Se в волосах населения Республики Молдова.

Методы. Проведено поперечное исследование. Образцы волос собраны у 301 участника в возрасте от 1 года до 94 лет. Данные сгруппированы по полу (мужчины и женщины) и по возрасту (до 18 лет, 18–44 года, 45–59 лет, 60 и более лет). Содержание Se в волосах определяли флуориметрическим методом с использованием флуориметра «Флюорат 02–5М» («Люмэкс», Россия). В качестве референс-стандарта использовали образец волос GBW 09101b. Для обработки данных применяли пакет статистических программ SPSS 23.0. Проверку выборок на нормальность распределения осуществляли по критерию Колмогорова–Смирнова с коррекцией значимости Лиллиефорса. Сравнение двух независимых выборок проводили с помощью непараметрического критерия Манна–Уитни, более двух независимых выборок — с использованием непараметрического критерия Краскела–Уоллиса.

Результаты. Концентрации Se в волосах населения Молдавии заключены в интервале 148–5000 мкг/кг, среднее арифметическое $M=697$ мкг/кг, 95% доверительный интервал CI: 636–758 мкг/кг, стандартное отклонение $SD=538$ мкг/кг, среднее геометрическое $G=598$ мкг/кг, медиана $Me=584$ мкг/кг. Средние значения концентрации Se в волосах женщин ($M=659$ мкг/кг и $G=565$ мкг/кг) меньше, чем в волосах мужчин ($M=769$ мкг/кг и $G=666$ мкг/кг) на статистически значимом уровне ($p=0,004$). Среднее геометрическое G в возрастных группах последовательно увеличивается с повышением возраста (540→585→601→741 мкг/кг). Различия между возрастными группами статистически значимы ($p=0,026$).

Заключение. Впервые для Республики Молдова, которая относится к странам с высоким содержанием Se в окружающей среде, проведена количественная оценка содержания этого микроэлемента в волосах населения. Среднее значение концентрации Se в волосах ($M=697$ мкг/кг) схоже с аналогичным показателем для жителей соседней Одесской области Украины (650 мкг/кг), биогеохимические условия в которой сходны с территорией Республики Молдова. Установлены статистически значимые различия содержания Se между группами мужчин и женщин. Выявлено, что по мере увеличения возраста концентрация Se в волосах жителей Республики Молдова повышается.

Ключевые слова: селен; волосы; население; Республика Молдова.

Как цитировать:

Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П. Содержание селена в волосах населения Республики Молдова // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 363–373. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217703>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217703>

Hair concentrations of selenium in the Moldovan population

Marina V. Kapitalchuk¹, Nadezhda A. Golubkina², Ivan P. Kapitalchuk¹

¹ Shevchenko State University of Pridnestrovie, Tiraspol', The Republic of Moldova;

² Federal Scientific Vegetable Center, Moscow region, Odintsovo, VNISSOK, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: There is a substantial body of evidence indicating that the ecosystems in the Republic of Moldova contain a significant amount of selenium. However, little is known regarding the levels of this essential element in the hair of the country's population.

AIM: To assess hair concentrations of selenium in the population of the Republic of Moldova.

METHODS: A cross-sectional study. Hair samples were collected from 301 participants aged 1–94 years. The data were presented and analyzed by gender and across the following age-groups: under 18, 18–44, 45–59 and 60+ years old. Determination of hair selenium concentration was carried out by fluorimetric method using Fluorat 02-5M fluorimeter (Lumex, Russia). Hair sample GBW 09101b was used as a reference standard. The statistical software package SPSS 23.0 was used for data processing. Normal distribution of the continuous variables was tested using Kolmogorov–Smirnov tests with Lilliefors significance correction. Mann–Whitney tests were used for comparing selenium concentrations while Kruska-Wallis tests were used for selenium concentrations across age-groups.

RESULTS: Selenium concentrations in the hair of the population of Moldova ranged between 148 and 5000 µg/kg with arithmetic mean (M)=697 µg/kg, 95% confidence interval CI: 636–758 µg/kg, standard deviation (SD)=538 µg/kg, geometric mean (G)=598 µg/kg, median (Me)=584 µg/kg. The average values of selenium concentration in the hair of the women (M=659 µg/kg, G=565 µg/kg) were significantly lower than those among the men (M=769 µg/kg, G=666 µg/kg), $p=0.004$. Geometric means of selenium concentrations increased with age (540→585→601→741 µg/kg), $p=0.026$.

CONCLUSION: This is the first study providing the evidence on hair concentration of selenium among the residents of Moldova. The results are congruent with earlier findings from the neighboring Odesa region of Ukraine with similar biogeochemical conditions. Significant gender differences in the concentration of selenium were observed. Moreover, hair concentration of selenium increased with age.

Keywords: selenium; hair; population; Republic of Moldova.

To cite this article:

Kapitalchuk MV, Golubkina NA, Kapitalchuk IP. Hair concentrations of selenium in the Moldovan population. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):363–373. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217703>

Received: 11.02.2023

Accepted: 13.07.2023

Published online: 13.08.2023

ВВЕДЕНИЕ

В течение первой половины XX столетия селен (Se) рассматривался научным сообществом как токсичный и канцерогенный элемент, и только в 1957 году было выяснено, что он является эссенциальным нутриентом. В настоящее время широко известно, что Se выполняет функцию антиоксиданта, повышает иммунобиологическую реактивность организма и защищает организм от некоторых вирусных инфекций, повышает восприятие сетчаткой глаза световых лучей, положительно влияет на репродуктивную функцию, снижает риск возникновения и развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, способствует выведению тяжёлых металлов из организма [1–3].

Среднесуточное потребление Se человеком колеблется от 10 мкг/сут в селенодефицитных местностях до 1400 мкг/сут и более в районах селенозов. Оптимальный уровень потребления Se составляет 50–200 мкг/сут, максимальный безопасный уровень — 400 мкг/сут, уровень проявления токсикозов — более 800 мкг/сут, верхний допустимый предел однократного приёма — 3500 мкг [1]. Уровень потребления Se, рекомендуемый FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) и ВОЗ, составляет не менее 26 мкг/день для женщин и 34 мкг/день — для мужчин [4]. В Российской Федерации физиологическая норма потребления Se установлена для взрослых женщин — 55 мкг/сут, мужчин — 70 мкг/сут [5].

Глубокий дефицит Se в пищевой цепи обуславливает риск возникновения различных патологий у людей, в том числе специфических эндемических заболеваний: кардиомиопатии (болезнь Кешана) и остеоартропатии (болезнь Кашина–Бека), катаракты, бесплодия у мужчин, облысения, медленного роста у детей. Кроме того, при недостатке Se имеется высокий риск заболевания многими формами рака, также высока восприимчивость к инфекциям [1]. Токсичные дозы Se в пище вызывают хронический селеноз, проявляющийся в виде потери массы тела, изменения ногтей, дерматитов, облысения, расстройства желудочно-кишечного тракта, снижения плодовитости и уродства у потомства. Однако случаи с проявлением селенозов достаточно редки, в то время как недостаток Se в диете испытывают до 80% населения [3].

Таким образом, оптимизация потребления Se населением для предотвращения заболеваний, связанных с дефицитом или избытком этого микроэлемента, является одной из актуальных задач современного здравоохранения. Причём приоритетным направлением в рамках данной задачи является коррекция Se-дефицита, которая подразделяется на индивидуальную, групповую и тотальную [2]. Индивидуальная и групповая коррекция Se-дефицита в принципе может быть проведена путём использования селеновых препаратов и пищевых добавок. В случае тотальной коррекции, актуальной

для Se-дефицитных биогеохимических провинций, правильнее говорить не о повышении Se-статуса населения, а о повышении Se-статуса территории, поскольку уровень обеспеченности тем или иным элементом зависит прямо или косвенно от особенностей его аккумуляции и миграции во всех звеньях пищевой цепи. В связи с этим разработке мероприятий по коррекции Se-дефицита должен предшествовать системный биогеохимический мониторинг территории, включающий определение и контроль содержания Se в компонентах окружающей среды (почва, сельскохозяйственные растения, природные воды) и продуктах питания, а также диагностику Se-статуса животных и человека [1].

В настоящее время во многих регионах мира выявлены обширные территории с недостатком Se в почве, воде, кормах и продуктах. В России территории с дефицитом Se в окружающей среде наиболее распространены в обширной зоне Нечерноземья, в Восточной Сибири и отдельных районах Дальнего Востока [2].

В Румынии, граничащей с Республикой Молдова с запада, в семи районах средняя концентрация общего Se в почве варьирует в интервале 143–766 мкг/кг, мобильного Se — 4–22 мкг/кг. В основном низкие концентрации Se зафиксированы в пастбищных (25±42 мкг/кг) и кормовых (19±14 мкг/кг) растениях из Фэгэрашской впадины [6], зелёных растениях пшеницы (39±18 мкг/кг) и зерне (130±111 мкг/кг) из Юго-Восточной Румынской равнины, зелёных растениях пшеницы (22±14 мкг/кг) и зерне (менее 0,5 мкг/кг) из Центральной и Южной Добруджи [7]. Однако эти районы Румынии непосредственно не примыкают к территории Молдавии.

В Одесской области Украины, примыкающей к границе Республики Молдова с востока, юго-востока и юга, содержание Se установлено в важнейших звеньях пищевой цепи: почве (общий Se) — 165–690 мкг/кг при среднем содержании 350 мкг/кг; зерне местной пшеницы — 160–190 мкг/кг; хлебе — 80–480 мкг/кг; организме человека (в сыворотке крови — 66–644 мкг/л при среднем значении 122±15 мкг/л; в волосах — в среднем 650 мкг/кг) [8]. В отличие от Румынии, где выделяются отдельные Se-дефицитные районы, в целом на территории Одесской области наблюдается монотонное распределение Se в почве, наиболее низкий фон этого элемента (233–275 мкг/кг) отмечается в почве юго-западных районов вблизи границы с Румынией.

В экосистемах Молдавии Se изучен более детально, чем в соседних странах. В почвенных образцах, отобранных в 139 ареалах основных типов почв на всей территории Молдавии, концентрация Se варьировала в интервале 100–668 мкг/кг при среднем значении 246±73 мкг/кг [9], что сопоставимо с концентрацией Se в почвах Юго-Восточной Румынской равнины и несколько ниже по сравнению с Одесской областью Украины. Исходя из градаций обеспеченности почв общим Se, установленных J. Tap и соавт. [10], в среднем почвы Молдавии содержат

оптимальное количество Se (более 175 мкг/кг). Имеются ареалы с относительным недостатком (125–175 мкг/кг) и дефицитом (менее 125 мкг/кг) данного микроэлемента.

В геохимических условиях долины Днестра сельскохозяйственные растения накапливают Se в количестве от 80 до 166 мкг/кг (в надземной части растений) и 78–157 мкг/кг — в зерне. Мощными аккумуляторами Se оказались грибы, в частности шампиньон двуспоровый (*Agaricus bisporus*), в котором для экосистем днестровской долины зафиксированы концентрации Se в диапазоне значений 1980–24 920 мкг/кг сухого вещества [11]. Активно аккумулируется Se в грецких орехах (258 ± 64 мкг/кг) [12], в мышечной ткани диких (дикий кабан — 373–394 мкг/кг, заяц-русак — 155–228 мкг/кг, птицы — 89–1158 мкг/кг) и сельскохозяйственных (свины, крупный и мелкий рогатый скот — 135–348 мкг/кг; кролики — 153–308 мкг/кг; куры, утки, гуси — 147–590 мкг/кг) животных [13].

Водные экосистемы Молдавии характеризуются высоким содержанием Se, концентрация которого колеблется в поверхностных и грунтовых водах от 0,2 до 6,1 мкг/л при среднем значении 1,8 мкг/л; в водорослях и водных растениях — от 19 до 2917 мкг/кг [14]; в донных отложениях водоёмов — от 95 до 345 мкг/кг при среднем значении 209 ± 80 мкг/кг [15]; в мышечной ткани рыб фоновых водных объектов — от 323 до 517 мкг/кг и водоёмов рыбных хозяйств — от 409 до 646 мкг/кг; в мышечной ткани водоплавающих птиц в фоновых водоёмах — до 1158 мкг/кг и до 2370 мкг/кг — в Кучурганском водохранилище, находящемся под воздействием крупной тепловой электростанции [13]. Таким образом, наземные и водные экосистемы Молдавии обладают высоким Se-статусом, в некоторых случаях в мышечной ткани птиц зафиксировано превышение предельно допустимых концентраций (1000 мкг/кг), установленных для мясopодуkтов [16].

Поскольку богатые Se мясо и рыба наряду с зерновыми являются важными элементами в диете жителей Молдавии, следует ожидать высокого Se-статуса населения этой страны. Другие продукты питания местного происхождения также содержат значительное количество Se: хлеб чёрный — 110 ± 32 мкг/кг, белый — 193 ± 66 мкг/кг; куриное яйцо 356 ± 39 мкг/кг; брынза коровья — 363 ± 97 мкг/кг, козья — 367 ± 12 мкг/кг, овечья — 512 ± 27 мкг/кг сухой массы [17].

Оценка содержания элементов в организме человека проводится посредством определения их концентрации в различных биосубстратах: в цельной крови, сыворотке/плазме крови, моче, ногтях рук и ног, волосах, слюне и др. Выявление с помощью данных методов элементного дисбаланса позволяет осуществлять адекватную коррекцию дисэлементозов на индивидуальном и популяционном уровнях [1, 18].

Диагностика Se-статуса человека в Республике Молдова ранее была проведена только для жителей, проживающих в долине Днестра, у которых концентрация

Se в сыворотке крови варьировала от 76 до 254 мкг/л при среднем значении 146 мкг/л [19], что в среднем оказалось выше, чем в соседней Одесской области Украины (122 мкг/л) [8]. Однако для большей части населения Молдавии, проживающего на обширной территории Днестровско-Прутского междуречья, до настоящего времени Se-статус остаётся неопределённым. Сдерживающим фактором для определения концентрации Se в сыворотке крови является сложность соблюдения специальных требований к оборудованию, условиям забора образцов крови, их хранения и транспортировки в лабораторию для анализа. Это не позволяло провести диагностику Se-статуса жителей, проживающих на всей территории страны, с целью выявления групп населения, подверженных риску Se-дефицита в организме, с последующей разработкой мер по адекватной коррекции Se-дисэлементоза.

С этой точки зрения более перспективным биосубстратом для определения Se-статуса значительной части населения страны являются волосы. Преимущества выбора волос для анализа концентрации Se очевидны: простота отбора образцов, отсутствие специальных требований к оборудованию и условиям их хранения и транспортировки, практически неограниченный срок хранения, более высокая концентрация Se по сравнению с физиологическими жидкостями, интегральный характер его накопления за период роста отобранного для анализа участка волос [1, 18].

К недостаткам использования волос в качестве субстрата для определения Se-статуса человека относятся риски воздействия на волосы Se из окружающей среды, диета, биологически активные добавки с Se, а также загрязняющие шампуни и другие средства для волос, содержащие этот микроэлемент [1, 20]. Однако, если исключить воздействие Se на волосы непосредственно из окружающей среды, загрязняющие средства для волос и биологически активные добавки, то содержание Se в волосах будет отражать главным образом его поступление с пищей, что обуславливает правомерность использования волос для оценки Se-статуса населения с учётом их преимуществ по сравнению с другими биосубстратами.

Определение концентрации Se в волосах жителей Республики Молдова ранее целенаправленно не проводилось. Данная работа является первым шагом по устранению этого пробела в системных исследованиях содержания Se в волосах населения Молдавии.

Цель. Оценка Se-статуса жителей Республики Молдова по содержанию Se в волосах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование является поперечным. Для данного типа исследований характерно применение статистических методов, предполагающих расчёт выборочных характеристик, которые агрегируют данные об охваченных группах населения.

Материалом для исследования послужили образцы волос жителей Молдавии, предоставленные добровольцами из разных регионов страны. Сбор волос осуществляли авторы и студенты-волонтеры Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко (по месту постоянного проживания) у родственников и знакомых, выразивших согласие предоставить образцы волос для анализа на условиях анонимности с указанием места жительства, пола и возраста. Отбор образцов волос осуществляли сами участники исследования путём состригания их с затылочной части головы, ближе к шее, в количестве не менее 5 г. Взятие образцов волос у детей осуществляли родители на добровольной основе. Всего таким образом был собран 301 образец волос у жителей разных регионов Молдавии в возрасте от 1 года до 94 лет (табл. 1).

При выполнении работы авторы неукоснительно следовали положениям Хельсинкской декларации (2013).

Образцы волос перед проведением анализа промывали ацетоном для удаления следов жира, высушивали на воздухе и гомогенизировали. Дополнительную очистку не проводили согласно работе [21]. Содержание Se в волосах определяли флуориметрическим методом [22, 23] с использованием флуориметра «Флюорат 02-5М»

(«Люмэкс», Россия). В качестве референс-стандарта использовали образец волос GBW 09101b (Шанхайский институт прикладной физики Китайской академии наук) с концентрацией Se $0,59 \pm 0,04$ мг/кг.

Метод отличается высокой чувствительностью (предел определения — 0,8 нг/проба), простотой определения, не требует дорогостоящего оборудования и включает пять основных стадий [22, 23]:

- мокрое сжигание образцов смесью азотной и хлорной кислот в режиме температур 20–180 °С;
- удаление следов азотной кислоты перекисью водорода (150 °С);
- восстановление Se^{+6} до Se^{+4} действием 6N соляной кислоты (120 °С);
- конденсацию образующейся селенистой кислоты с 2,3-диаминонафталином (при 50–55 °С в течение 30 мин);
- экстракцию комплекса Se^{+4} с 2,3-диаминонафталином (пиазоселенола) гексаном с последующим определением флуоресценции гексанового раствора при длинах волн (λ): возбуждения — 376 ± 1 нм, эмиссии — 519 ± 1 нм. Навеска субстрата в используемом микрофлуориметрическом методе анализа составляет 0,1–0,12 г.

Таблица 1. Районы Молдавии, охваченные исследованием

Table 1. Regions of Moldova where the study participants were recruited from

Регион Geographic region	Административный район Administrative region	Количество образцов волос Number of hair samples
Северный лесостепной Northern forest-steppe	Глодянский Glodyansky	1
	Фалештский Faleshtsky	4
	Каменский Kamensky	32
	Рыбницкий Rybnitsky	10
Итого по региону Regional total		47
Центральный лесостепной Central forest-steppe	г. Кишинев Chisinau	23
	Ново-Аненский Novo-Nensky	3
	Дубоссарский Dubossarsky	3
	Григориопольский Grigoriopolsky	4
Итого по региону Regional total		33
Юго-восточный степной South-Eastern steppe	г. Тирасполь Tiraspol	103
	г. Бендеры Bendery	62
	Слободзейский Slobodzeisky	40
	Каушанский Kaushansky	3
Итого по региону Regional total		208
Южный степной Southern seppe	Гагаузия Gagauzia	11
	Леовский Leovsky	2
Итого по региону Regional total		13
Всего Grand total		301

Таблица 2. Концентрация селена (мкг/кг) в волосах женщин, мужчин и общей группы жителей Республики Молдова
Table 2. Selenium concentration ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in the hair of females, males and in the full sample of residents of the Republic of Moldova

Статистический показатель Statistical indicator	Группа Group		
	Общая Both genders	Женщины Females	Мужчины Males
Количество образцов Number of samples	301	192	109
Диапазон значений Range	148–5000	148–5000	291–3872
Среднее арифметическое Mean	697	659	769
95% доверительный интервал Confidence interval	636–758	584–733	663–875
Стандартное отклонение Standard deviation	538	523	558
Среднее геометрическое Geometric mean	598	565	666
Медиана Median	584	538	631
Процентили Percentile (10)	350	334	401
Процентили Percentile (25)	429	406	484
Процентили Percentile (75)	759	743	798
Процентили Percentile (90)	1032	921	1205

Для статистического анализа данные о содержании Se в волосах были сгруппированы в группы: общая, включающая 301 образец; по полу безотносительно возраста: женщины — 192 образца, мужчины — 109 образцов; по возрасту: до 18 лет — 50 образцов, 18–44 лет — 162 образца; 45–59 лет — 50 образцов; 60 и более лет — 39 образцов.

Статистический анализ. Статистические расчёты проведены с помощью лицензионной программы SPSS 23.0. Проверку данных на нормальность распределения осуществляли по критерию Колмогорова–Смирнова с коррекцией значимости Лиллиефорса. Для описания данных использовали следующие центральные тенденции и меры рассеяния: количество образцов в группе (N), среднее арифметическое (M), 95% доверительный интервал (CI) для среднего арифметического, стандартное отклонение (SD), среднее геометрическое (G), медиану (Me), процентили (10-, 25-, 75- и 90-й). Сравнение двух независимых выборок проводили с помощью непараметрического U-критерия Манна–Уитни, более двух независимых выборок — с использованием непараметрического H-критерия Краскела–Уоллиса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 2 представлены результаты статистической обработки данных о содержании Se в волосах женщин и мужчин Республики Молдова. Для сравнимости результатов с работами других авторов, в которых не приводится группировка по полу, здесь представлены также данные по общей группе участников.

Диапазон колебаний концентрации Se в волосах женщин заключён в более широких пределах (148–5000 мкг/кг), чем у мужчин (291–3872 мкг/кг). Однако среднее

арифметическое, среднее геометрическое, медиана, 10-, 25-, 75- и 90-й процентили для группы мужчин оказались заметно выше, чем для группы женщин.

Поскольку обе выборки не соответствовали нормальному распределению по критерию Колмогорова–Смирнова, для оценки статистической значимости различий в группах женщин и мужчин использовали непараметрический U-критерий Манна–Уитни для независимых выборок (табл. 3). Различия между группами мужчин и женщин статистически значимы на достаточно высоком уровне ($p=0,004$). Причём содержание Se в волосах женщин (средний ранг — 140,13) меньше, чем у мужчин (средний ранг — 170,16). Следовательно, превышение статистических показателей в группе мужчин относительно соответствующих показателей в группе женщин, представленных в табл. 2, является неслучайным.

В табл. 4 представлены результаты статистической обработки данных о содержании Se в волосах возрастных групп. У средних арифметических значений для этих выборок проявляется тенденция к повышению по мере увеличения возраста участников. Исключением является среднее арифметическое для возрастной группы 18–44 лет ($M=692$ мкг/кг), которое несколько превышает

Таблица 3. Результат сравнения концентрации селена в волосах женщин и мужчин по U-критерию Манна–Уитни

Table 3. Results of the Mann–Whitney U-test for comparison of hair selenium concentrations across genders

Группа Group	Средний ранг Mean rank	U	p
Женщины	140,13	8376	0,004
Мужчины	170,16		

Таблица 4. Концентрации селена в волосах жителей Республики Молдова в зависимости от возраста, мкг/кг**Table 4.** Selenium concentrations in the hair of residents of the Republic of Moldova across age groups ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Статистический показатель Statistical indicator	Возраст, лет Age, years			
	<18	18–44	45–59	60+
Количество образцов Number of samples	50	162	50	39
Диапазон значений Range	252–1802	148–5000	225–2155	308–3071
Среднее арифметическое Mean	580	692	677	897
95% доверительный интервал Confidence interval	505–656	599–785	567–786	687–1107
Стандартное отклонение Standard deviation	265	580	384	648
Среднее геометрическое Geometric mean	540	585	601	747
Медиана Median	513	578	592	703
Процентили Percentile (10)	354	339	352	356
Процентили Percentile (25)	423	422	426	505
Процентили Percentile (75)	618	739	814	886
Процентили Percentile (90)	798	973	1113	1836

аналогичный показатель для последующей группы 45–59 лет ($M=677$ мкг/кг). Это «нарушение» обусловлено более значительным вкладом в среднее арифметическое для группы 18–44 лет крайних высоких значений по сравнению с другими возрастными группами. Действительно, данная возрастная группа обладает самым высоким верхним пределом диапазона значений концентрации Se (148–5000 мкг/кг).

Величина среднего геометрического, где вклад редких высоких значений существенно нивелируется, последовательно возрастает с увеличением возраста участников (540→585→601→741 мкг/кг). Данная тенденция прослеживается также для медианы, 75-го и 90-го процентилей (см. табл. 4).

Распределения в возрастных выборках по критерию Колмогорова–Смирнова не соответствуют нормальному виду, поэтому оценку статистической значимости различий в возрастных группах проводили с помощью H -критерия Краскела–Уоллиса для более двух независимых выборок (табл. 5). Различия в возрастных выборках являются статистически значимыми при $p=0,026$. По мере увеличения возраста концентрация Se в волосах жителей Молдавии проявляет тенденцию к росту.

ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование по содержанию Se в волосах жителей Республики Молдова проведено впервые и служит дополнительным элементом в системном изучении данного микроэлемента в этой стране. При интерпретации результатов следует принимать во внимание, что данные получены для территории с высокой обеспеченностью этим микроэлементом: как естественных экосистем, так и продуктов питания местного производства. В связи с этим

Таблица 5. Результат сравнения концентрации селена в различных возрастных группах по H -критерию Краскела–Уоллиса**Table 5.** Results of the Kruskal–Wallis H -test for comparison of hair selenium concentrations across age groups

Возраст, лет Age, years	Средний ранг Mean rank	χ^2	p
<18	131,10	9,249	0,026
18–44	148,11		
45–59	152,69		
60+	186,36		

представленные авторами статистические характеристики по содержанию Se в волосах исследованных групп населения Республики Молдова (см. табл. 2 и 4) могут служить ориентировочными показателями при оценке Se-статуса населения на территориях с высокой обеспеченностью данным микроэлементом, поскольку до настоящего времени нет общепризнанных критериев оптимальности содержания Se в волосах людей.

Так, имеются сведения, что синдромы селенодефицита проявляются при концентрации Se в волосах людей менее чем 500 мкг/кг [24]. По данным исследования [1], характерное содержание Se в волосах людей при нормальной обеспеченности микроэлементом составляет 500–700 мкг/кг. По сведениям зарубежных авторов, оптимальная концентрация Se в волосах людей варьирует в следующих пределах: 500–1000 мкг/кг [25], 500–1500 мкг/кг [26], 600–1200 мкг/кг [27].

Если исходить из предложенных в указанных выше работах пороговых значений и принять в качестве оптимального содержания Se в волосах расширенный диапазон 500–1500 мкг/кг, то из общей группы жителей

Молдавии в него попадают 56% участников исследования, у 38% населения наблюдаются дефицитные, а у 6% — избыточные концентрации Se в волосах. Среди женщин оптимальные концентрации Se в волосах отмечены у 52%, дефицитные — у 42%, избыточные — у 6%. Для мужчин оптимальные концентрации составляют 65%, дефицитные — 28%, избыточные — 7%.

В то же время, согласно оценкам K. Gellein и соавт. [28], к Se-дефицитным следует относить концентрации микроэлемента в волосах менее 200 мкг/кг, а его маргинальная недостаточность проявляется при содержании Se в волосах на уровне 200–250 мкг/кг. Если исходить из этих пороговых значений, то более 95% участников общей группы оптимально обеспечены микроэлементом. Дефицит Se (менее 200 мкг/кг) в общей группе исследуемых наблюдался у 1,5%, а маргинальная недостаточность (200–250 мкг/кг) — у 1% участников. Причём все случаи с дефицитом и маргинальной недостаточностью Se зафиксированы только в волосах женщин и ни одного подобного случая не обнаружилось в волосах мужчин, проживающих в Молдавии.

Для оценки статуса химического элемента на популяционном уровне авторами работ [18, 29] предложено принять в качестве «нормы» интервал 25–75 процентилей. Общероссийский межквартильный интервал (25–75 процентиля) концентрации Se в волосах составляет 690–2200 мкг/кг [18, с. 41]. Некоторые авторы (например, в работе [30]) делают вывод о Se-статусе населения определённого региона, сравнивая свои региональные данные по содержанию этого микроэлемента в волосах с общероссийской «нормой». Такой подход, на наш взгляд, может привести к ошибочным выводам относительно регионального Se-статуса населения, который должен оцениваться во взаимосвязи с содержанием Se в экосистемах и продуктах питания данной территории, обусловленным особенностями её биогеохимических условий. Полученные нами результаты показали, что, кроме региональных особенностей, для получения более полной картины о Se-статусе населения определённой территории необходимо также учитывать различия Se-статуса для разных групп, различающихся по полу и возрасту, поскольку физиологическая норма потребления микроэлемента для них неодинакова [4, 5].

Выявленные нами статистически значимые различия ($p=0,004$) в содержании Se в волосах мужчин и женщин установлены и в других регионах. Так, в Чеченской Республике среднее содержание Se в волосах женщин оказалось в 1,68 раза ниже, чем у мужчин [31]. Более низкие концентрации этого микроэлемента в волосах женщин по сравнению с мужчинами наблюдались также в различных провинциях Китая [32].

Среднее (M) значение концентрации Se в волосах (697 мкг/кг) общей группы жителей Молдавии оказалось сопоставимым с аналогичным показателем для жителей соседней Одесской области Украины (650 мкг/кг) [8],

биогеохимические условия которой сходны с территорией Республики Молдова. Отметим, что средняя концентрация Se в сыворотке крови населения Молдавии (146 мкг/л) [19] оказалась несколько выше, чем у жителей Одесской области (122 мкг/л) [8]. Определение содержания Se в волосах и сыворотке крови на обеих сравниваемых территориях проводили с помощью флуориметрического метода [22, 23].

Как указывалось выше, в Румынии биогеохимические условия более контрастны по сравнению с Молдавией и Одесской областью Украины. Хотя диапазон содержания валового Se в румынских почвах почти такой же, как в молдавских и одесских, в Румынии установлены Se-дефицитные районы, идентифицированные по низкой концентрации микроэлемента в растениях [6, 7]. Однако в доступных нам публикациях сведения о содержании Se в волосах жителей Румынии отсутствуют, поэтому полученные данные для Молдавии сравнить с этой соседней страной не представилось возможным.

Отметим также, что среднее ($M\pm SD$) значение концентрации Se в волосах (697 ± 538 мкг/кг) общей группы жителей Молдавии (см. табл. 2) оказалось выше средних значений Se в образцах волос из США (591 ± 110 мкг/кг) и Канады (546 ± 240 мкг/кг), которые относятся к странам с высокой обеспеченностью населения этим микроэлементом [33].

Ограничения исследования. Несмотря на хорошую сходимость средних концентраций Se в волосах жителей Молдавии с другими регионами с высокой обеспеченностью данным микроэлементом, наши результаты следует считать ориентировочными, поскольку при проведении исследования авторам не удалось в должной мере охватить все регионы страны (см. табл. 1). Именно по данной причине авторы не проводили оценку различий Se-статуса групп населения, проживающих в разных административных и биогеохимических районах Республики Молдова. Эта задача рассматривается в качестве приоритетной на ближайшую перспективу.

При использовании полученных авторами результатов следует также принимать во внимание, что оценку Se-статуса разных групп населения Молдавии проводили без учёта фактора состояния здоровья участников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Республика Молдова относится к странам с высокой обеспеченностью селеном экосистем и местных продуктов питания. Впервые для этой страны проведено исследование по содержанию Se в волосах её жителей. Получены статистические показатели распределений Se для общей группы населения, для мужчин и женщин, а также для разных возрастных групп.

Установлены статистически значимые различия содержания Se между группами мужчин и женщин: Se-статус мужчин оказался выше, чем у женщин. Выявлено,

что по мере увеличения возраста концентрация Se в волосах жителей Молдавии проявляет тенденцию к росту, различия в возрастных выборках также являются статистически значимыми.

Перспективной задачей для продолжения исследования является оценка различий Se-статуса жителей, проживающих в разных административных и биогеохимических районах Молдавии, а также групп населения, сформированных с учётом состояния здоровья участников.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Авторы М.В. Капитальчук, Н.А. Голубкина, И.П. Капитальчук подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы участвовали в разработке концепции, проведении исследования, подготовке

первого варианта рукописи, внесли изменения во все последующие варианты рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. M.V. Kapitalchuk, N.A. Golubkina, I.P. Kapitalchuk confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding sources. No external funding.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селен в питании: растения, животные, человек / под ред. Н.А. Голубкиной, Т.Т. Папазяна. Москва : Печатный город, 2006. 254 с.
2. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементов / отв. ред. Т.И. Моисеенко. Москва, 2018. 386 с.
3. Миних В.Б. Базовые аспекты метаболизма селена и биосинтеза селенопротеинов в организме человека // Успехи биологической химии. 2022. Т. 62. С. 369–390.
4. Human vitamin and mineral requirements: report of a joint FAO/WHO expert consultation Bangkok, Thailand. Rome : Food and Nutrition Division, 2002. 341 p.
5. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. 72 с. Режим доступа: https://www.rosotrebнадzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979
6. Lăcătușu R., Stanciu-Burileanu M.-M., Lăcătușu A.-R., et al. Selenium in the soil — plant system from some areas of Romania. Eastern European Chernozems — 140 years after V. Dokuchaev; Inter Sci Conf; 2–3 Oct 2019; Chișinău. Chișinău: CEP USM, 2019. P. 148–155.
7. Lăcătușu R., Aldea M.M., Lăcătușu A.-R., et al. Selenium in rock-soil-plant system in the South-Eastern part of Romania // Research Journal of Agricultural Science. 2010. Vol. 42, N 3. P. 199–204.
8. Щелкунов Л.Ф., Голубкина Н.А. Содержание селена в почвах, растениях и у человека в Одесской области // Экология моря. 2000. Т. 54. P. 62–68.
9. Kapitalchuk I., Golubkina N., Kapitalchuk M., Sheshnitsan S. Selenium in soils of Moldova // Journal of Environmental Science and Engineering A. 2014. Vol. 3, N 5. P. 268–273. doi: 10.17265/2162-5298/2014.05.004
10. Tan J., Zhu W., Wang W., et al. Selenium in soil and endemic diseases in China // Sci Total Environ. 2002. Vol. 284, N 1-3. P. 227–235. doi: 10.1016/S0048-9697(01)00889-0
11. Kapitalchuk I., Golubkina N., Kapitalchuk M., et al. Selenium and other elements accumulation by higher fungi in ecosystems of the Dniester river valley // Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe Reale și ale Naturii). 2014. N 6. P. 103–107.
12. Голубкина Н.А., Капитальчук М.В., Капитальчук И.П. Грецкие орехи как источник эссенциального микроэлемента селена // Вопросы питания. 2009. Т. 78, № 6. С. 73–77.
13. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Капитальчук И.П., Тищенко А.А. Селеновый статус животных Молдавии. В кн.: Труды XI Международной биогеохимической школы, посвященной 120-летию со дня рождения Виктора Владиславовича Ковальского: в 2 томах «Биогеохимия — научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека». Т. 2. Тула : Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, 2019. С. 55–59.
14. Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., Шешницан С.С., Капитальчук И.П. Особенности аккумуляции селена растениями водных экосистем Молдавии // Географическая среда и живые системы. 2013. № 3. С. 104–109.
15. Капитальчук И.П., Капитальчук М.В., Голубкина Н.А., и др. Седименты как источник микроэлементов для восстановления эродированных почв Молдовы // Проблемы региональной экологии. 2015. № 4. С. 38–43.
16. Временные гигиенические нормативы содержания некоторых химических элементов в основных пищевых продуктах (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 30 сентября 1981 г. N 2450-81). Режим доступа: <https://base.garant.ru/70731834/>
17. Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Продукты питания как индикатор обеспеченности ландшафтов Молдавии селеном // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2011. № 4. С. 90–93.

18. Мирошников С.А., Нотова С.В., Мирошников С.В., и др. Оценка элементного гомеостаза человека и животных. Оренбург : ИПК Университет, 2016. 220 с.
19. Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Аккумуляция и миграция селена в компонентах биогеохимической цепи «почва–растения–человек» в условиях Молдавии // Поволжский экологический журнал. 2011. № 3. С. 323–335.
20. Spallholz J.E., Boylan L.M., Palace V., et al. Rahman arsenic and selenium in human hair: a comparison of five countries with and without arsenicosis // Biol Trace Elem Res. 2005. Vol. 106, N 2. P. 1–12. doi: 10.1385/BTER:106:2:133
21. Li M., Yun H., Huang J., et al. Hair selenium content in middle-aged and elderly chinese population // Biol Trace Elem Res. 2021. Vol. 199, N 10. P. 3571–3578. doi: 10.1007/s12011-020-02482-4
22. Alfthan G. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // Anal Chim Acta. 1984. Vol. 165. P. 187–194. doi: 10.1016/S0003-2670(00)85199-5
23. Методические указания МУК 4.1.033-95 «Химические факторы. Определение селена в продуктах питания» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 24 июля 1995 г.). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200000146>
24. Сусликов В.Л. Геохимическая экология болезней: в 4-х т. Т. 3. Атомовитозы. Москва : Гелиос, 2002. 670 с.
25. Iyegar V., Woittiez J. Trace elements in human clinical specimens: evaluation of literature data to identify references values // Clin Chem. 1988. Vol. 34, N 3. P. 474–481.
26. Bertram H.P. Spurenelemente: analytic, okotoxikologische und medizinischklinische Bedeutung. Munchen, Wien, Baltimore : Urban und Schwarzenberg, 1992. 207 p.
27. Burgerstein L., Zimmermann M., Schurgast H., Burgerstein U.P. Burgersteins handbuch naehrstoffe. 10 Auflage. Stuttgart : Karl F. Haug Verlag, 2002. 512 p.
28. Gellein K., Lierhagen S., Brevik P.S., et al. Trace element profiles in single strands of human hair determined by HP-ICP-MS // Biol Trace Elem Res. 2008. Vol. 123, N 1-3. P. 250–260. doi: 10.1007/s12011-008-8104-0
29. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4, № 1. С. 55–56.
30. Батырова Г.А., Тлегунова Ж.Ш., Умарова Г.А., и др. Микроэлементный статус взрослого населения Западного Казахстана // Экология человека. 2021. Т. 28, № 11. С. 42–49. doi: 10.33396/1728-0869-2021-11-42-49
31. Амагова З.А., Голубкина Н.А., Исаева У.С. Проблема йодной и селеновой недостаточности в Чеченской Республике // Микроэлементы в медицине. 2017. Т. 18, № 3. С. 13–19. doi: 10.19112/2413-6174-2017-18-3-13-19
32. Li S., Banuelos G.S., Wu L., Shi W. The changing selenium nutritional status of Chinese residents // Nutrients. 2014. Vol. 6, N 3. P. 1103–1114. doi: 10.3390/nu6031103
33. Spallholz J.E., Boylan L.M., Palace V., et al. Rahman arsenic and selenium in human hair: a comparison of five countries with and without arsenicosis // Biol Trace Elem Res. 2005. Vol. 106, N 2. P. 133–144. doi: 10.1385/BTER:106:2:133

REFERENCES

1. Golubkina NA, Papazyan TT, editors. *Selen v pitanii: rasteniya, zhivotnye, chelovek*. Moscow: Pechatnyi gorod; 2006. 254 p. (In Russ).
2. Ermakov VV, Tyutikov SF, Safonov VA. Biogeoхимическая индикация микроэлементов. TI Moiseenko, editor. Moscow; 2018. 386 p. (In Russ).
3. Minih VB. Bazovye aspekty metabolizma selena i biosinteza selenoproteinov v organizme cheloveka. *Uspehi biologicheskoy himii*. 2022;62:369–390. (In Russ).
4. *Human vitamin and mineral requirements: report of a joint FAO/WHO expert consultation Bangkok, Thailand*. Rome: Food and Nutrition Division; 2002. 341 p.
5. *Federal'naja sluzhba po nadzoru v sfere zashhity prav potrebitel'j i blagopoluchija cheloveka. Metodicheskie rekomendacii MP 2.3.1.0253-21 «Normy fiziologicheskikh potrebnostej v jenergii i pishhevyh veshhestvah dlja razlichnyh grupp naselenija Rossijskoj Federacii»*. Moscow: Federal'nyj centr gigieny i jepidemiologii Rospotrebnadzora; 2021. 72 p. Available from: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979 (In Russ).
6. Lăcătușu R, Stanciu-Burileanu M-M, Lăcătușu A-R, et al. *Selenium in the soil-plant system from some areas of Romania*. Eastern European Chernozems — 140 years after V. Dokuchaev; Inter Sci Conf; Oct 2–3 2019; Chișinău. Chișinău: CEP USM; 2019. P. 148–155.
7. Lăcătușu R, Aldea M.M, Lăcătușu A-R, et al. Selenium in rock-soil-plant system in the south-eastern part of Romania. *Research Journal of Agricultural Science*. 2010;42(3):199–204.
8. Schelkunov LF, Golubkina NA. Selenium content in soil, plants and people in Odessa region. *Ekologiya morya*. 2000;54:62–68. (In Russ).
9. Kapitalchuk I, Golubkina N, Kapitalchuk M, Sheshnitsan S. Selenium in soils of Moldova. *Journal of Environmental Science and Engineering A*. 2014;3(5):268–273. (In Russ). doi: 10.17265/2162-5298/2014.05.004
10. Tan J, Zhu W, Wang W, et al. Selenium in soil and endemic diseases in China. *Sci Total Environ*. 2002;284(1-3):227–235. doi: 10.1016/s0048-9697(01)00889-0
11. Kapitalchuk I, Golubkina N, Kapitalchuk M, et al. Selenium and other elements accumulation by higher fungi in ecosystems of the Dniester river valley. *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe Reale și ale Naturii)*. 2014;(6):103–107. (In Russ).
12. Golubkina NA, Kapitalchuk MV, Kapitalchuk IP. Walnuts asa of essenziale trace element selenium. *Problems of Nutrition*. 2009;78 (6):73–77. (In Russ).
13. Kapital'chuk MV, Golubkina NA, Kapital'chuk IP, Tishhenkov AA. Selenovyy status zhivotnyh Moldavii. In: *Trudy XI Mezhdunarodnoj biogeoхимической shkoly, posvjashhennoj 120-letiju so dnja rozhdenija Viktora Vladislavovicha Koval'skogo: v 2 tomah «Biogeoхимija — nauchnaja osnova ustojchivogo razvitiya*

- i sohraneniya zdorov'ya cheloveka*. Vol. 2. Tula: Tul'skij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet im. L.N. Tolstogo, 2019. P. 55–59. (In Russ).
14. Kapitalchuk MV, Golubkina NA, Sheshnitsan SS, Kapitalchuk IP. Features of selenium accumulation by the plants of freshwater ecosystems in Moldova. *Geographical Environment and Living Systems*. 2013;(3):104–109. (In Russ).
 15. Kapitalchuk IP, Kapitalchuk MV, Golubkina NA, et al. Sediments as a source of trace elements for the restoration of eroded soils of Moldova. *Problemy regional'noi ekologii*. 2015;(4):38–43. (In Russ).
 16. *Vremennye gigienicheskie normativy sodержaniya nekotorykh himicheskikh jelementov v osnovnykh pishhevyykh produktah* (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom SSSR 30 sentjabrja 1981 g. N 2450-81). Available from: <https://base.garant.ru/70731834/> (In Russ).
 17. Kapitalchuk M, Kapitalchuk I, Golubkina N. Food security as an indicator of landscapes of Moldova selenium bioavailability. *Vestnik MGOU. Geographical Environment and Living Systems*. 2011;(4):90–93. (In Russ).
 18. Miroshnikov SA, Notova SV, Miroshnikov SV, i dr. *Ocenka jelementnogo gomeostaza cheloveka i zhivotnyh*. Orenburg: IPK Universitet; 2016. 220 p. (In Russ).
 19. Kapitalchuk MV, Kapitalchuk IP, Golubkina NA. Selenium accumulation and migration in components of the biogeochemical soil–plants–man food chain in MOLDOVA. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2011;(3):323–335. (In Russ).
 20. Spallholz JE, Boylan LM, Palace V, et al. Rahman arsenic and selenium in human hair: a comparison of five countries with and without arsenicosis. *Biol Trace Elem Res*. 2005;106(2):1–12. doi: 10.1385/BTER:106:2:133.
 21. Li M, Yun H, Huang J, et al. Hair selenium content in middle-aged and elderly chinese population. *Biol Trace Elem Res*. 2021;199(10):3571–3578. doi: 10.1007/s12011-020-02482-4
 22. Alfthan G. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry. *Anal Chim Acta*. 1984;165:187–194. doi: 10.1016/S0003-2670(00)85199-5
 23. *Metodicheskie ukazaniya MUK 4.1.033-95 "Himicheskie faktory. Opredelenie selena v produktah pitaniya"* (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 24 ijulja 1995 g.). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200000146> (In Russ).
 24. Suslikov VL. *Geohimicheskaja jekologija boleznej: v 4 t. T. 3. Atomovitozy*. Moscow: Gelios, 2002. 670 p. (In Russ).
 25. Iyegar V, Woittiez J. Trace elements in human clinical specimens: evaluation of literature data to identify references values. *Clin Chem*. 1988;34(3):474–481.
 26. Bertram HP. *Spurenelemente: analytic, okotoxikologische und medizinischklinische Bedeutung*. Munchen, Wien, Baltimore: Urban und Schwarzenberg; 1992. 207 p.
 27. Burgerstein L, Zimmermann M, Schurgast H, Burgerstein UP. *Burgersteins handbuch naehrstoffe. 10 Auflage*. Stuttgart: Karl F. Haug Verlag; 2002. 512 p.
 28. Gellein K, Lierhagen S, Brevik PS, et al. Trace element profiles in single strands of human hair determined by HP-ICP-MS. *Biol Trace Elem Res*. 2008;123(1-3):250–260. doi: 10.1007/s12011-008-8104-0
 29. Skal'nyi AV. Referentnye znacheniya kontsentratsii khimicheskikh elementov v volosakh, poluchennye metodom ISP-AES (ANO Tsentr bioticheskoi meditsiny). *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2003;4(1):55–56. (In Russ).
 30. Batyrova GA, Tlegenova ZhSh, Umarova GA, et al. Microelement status of the adult population in Western Kazakhstan. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(11):42–49. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2021-11-42-49
 31. Amagova ZA, Golubkina NA, Isaeva US. Problem of iodine and selenium deficiency in Chechen Republic. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2017;18(3):13–19. (In Russ). doi: 10.19112/2413-6174-2017-18-3-13-19
 32. Li S, Banuelos GS, Wu L, Shi W. The changing selenium nutritional status of Chinese residents. *Nutrients*. 2014;6(3):1103–1114. doi: 10.3390/nu6031103
 33. Spallholz JE, Boylan LM, Palace V, et al. Rahman arsenic and selenium in human hair: a comparison of five countries with and without arsenicosis. *Biol Trace Elem Res*. 2005;106(2):133–144. doi: 10.1385/BTER:106:2:133

ОБ АВТОРАХ

* **Капитальчук Марина Владимировна**, к.б.н.;
адрес: Молдова, 3300, Тирасполь, ул. 25 Октября, д. 128;
ORCID: 0000-0003-2618-0823;
eLibrary SPIN: 6294-7877;
e-mail: marinakapital78@gmail.com

Голубкина Надежда Александровна, д.с.-х.н.;
ORCID: 0000-0003-1803-9168;
eLibrary SPIN: 9284-3454;
e-mail: segolubkina45@gmail.com

Капитальчук Иван Петрович, к.г.н.;
ORCID: 0000-0003-2448-7493;
eLibrary SPIN: 3798-3233;
e-mail: ivankapital54@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Marina V. Kapitalchuk**, Cand. Sci. (Biol.);
128, 25 Oktjabrja street, 3300, Tiraspol', Moldova;
ORCID: 0000-0003-2618-0823;
eLibrary SPIN: 6294-7877;
e-mail: marinakapital78@gmail.com

Nadezhda A. Golubkina, Dr. Sci. (Agriculture);
ORCID: 0000-0003-1803-9168;
eLibrary SPIN: 9284-3454;
e-mail: segolubkina45@gmail.com

Ivan P. Kapitalchuk, Cand. Sci. (Geography);
ORCID: 0000-0003-2448-7493;
eLibrary SPIN: 3798-3233;
e-mail: ivankapital54@gmail.com

*Автор, ответственный за публикацию / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321968>

Характер реагирования кардиоваскулярной системы на биоуправление у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих в северных и южном регионах

Д.Б. Дёмин

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Реакции сердечно-сосудистой системы подростков при саморегуляции зависят от состояния их исходного вегетативного тонуса и региона проживания.

Цель. Изучение динамики показателей сердечно-сосудистой системы при кардиобиоуправлении (КБУ) у подростков с различной исходной вегетативной регуляцией сердечного ритма с учётом их проживания в северных и южном регионах.

Материал и методы. Обследованы школьники 16–17 лет, постоянно проживающие в северо-западном ($n=55$), северо-восточном ($n=55$) и южном ($n=55$) регионах РФ. Регистрировали вариабельность сердечного ритма (ВСР) и артериальное давление (АД). По исходному типу вегетативной регуляции сердечного ритма испытуемые в регионах были разделены на группы: ваготоники, нормотоники, симпатотоники. Нормотоникам и симпатотоникам дополнительно проводили сеанс биоуправления, повышающего резервы парасимпатической регуляции ритма сердца.

Результаты. В выборках северо-западного/северо-восточного/южного регионов выявлено соответственно 29/7/16% ваготоников; 42/47/49% нормотоников; 29/46/35% симпатотоников. Значимо более высокие уровни АД выявлены у симпатотоников северо-восточного региона в сравнении с ваготониками и нормотониками этого региона, а также с симпатотониками северо-западного и южного регионов. КБУ было успешным у всех его участников, показатели ВСР значимо сильнее реагировали на него у симпатотоников северо-западного региона при относительной стабильности у них уровней АД и барорефлекса. Симпатотоники северо-восточного и южного регионов характеризовались сохранением повышенной частоты сердечных сокращений после КБУ, что сопровождалось отчётливой сосудистой реакцией (значимое снижение АД) и выраженностью барорефлекторной реакции.

Заключение. Симпатикотония и увеличенная сосудистая реакция на КБУ могут быть характерными для подростков северо-восточного региона, являющихся в большинстве потомками переселенцев из южных регионов. Потомки местных жителей северо-западного региона, по-видимому, обладают более совершенными наследственно закреплёнными механизмами адаптации сердечно-сосудистой системы к условиям проживания в Арктике.

Ключевые слова: подростки; вегетативный тонус; вариабельность сердечного ритма; артериальное давление; биоуправление; северный и южный регионы.

Как цитировать:

Дёмин Д.Б. Характер реагирования кардиоваскулярной системы на биоуправление у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих в северных и южном регионах // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 375–384. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321968>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321968>

Response of the cardiovascular system to heart rate variability biofeedback intervention in adolescents with different autonomic nervous tone living in northern and southern regions

Denis B. Demin

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The cardiovascular responses of adolescents during self-regulation are contingent upon their initial autonomic tone and place of residence.

AIM: To investigate the dynamics of cardiovascular system indices during heart rate variability biofeedback (HRV BF) training in adolescents with different initial autonomic regulation of heart rhythm, taking into account their residence in the northern and southern regions.

MATERIAL AND METHODS: Schoolchildren aged 16–17 years, residents of the northwestern ($n=55$), northeastern ($n=55$) and southern ($n=55$) regions of the Russian Federation were examined. Heart rate variability (HRV) and blood pressure (BP) were recorded. Participants were divided into the following groups according to their baseline autonomic regulation of cardiac rhythm: vagotonics, normotonics and sympathotonics. Normotonics and sympathotonics additionally had a one-time HRV BF session to increase parasympathetic influences on heart rhythm.

RESULTS: The northwestern/northeastern/southern samples revealed 29/7/16% vagotonics; 42/47/49% normotonics; and 29/46/35% sympathotonics. BP was significantly greater in sympathotonics compared to vagotonics and normotonics in the northeastern region and sympathotonics in the northwestern and southern regions. HRV BF training was successful in all participants: HRV parameters responded to a greater extent in sympathotonics living in the northwestern region while their BP and baroreflex levels were relatively stable. Sympathotonics of the northeastern and southern regions were characterized by preservation of elevated HR after HRV BF accompanied by a significant decrease in BP and a pronounced baroreflex response.

CONCLUSION: In the northwestern region, adolescents who are mainly descendants of migrants from the southern regions typically have sympathicotonia and increased vascular response to HRV BF. The descendants of natives of the northwestern region apparently inherited more advanced mechanisms of cardiovascular regulations in the conditions of the Arctic.

Keywords: adolescents; autonomic nervous tone; heart rate variability; blood pressure; biofeedback; northern and southern regions.

To cite this article:

Demin DB. Response of the cardiovascular system to heart rate variability biofeedback intervention in adolescents with different autonomic nervous tone living in northern and southern regions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):375–384. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321968>

Received: 06.04.2023

Accepted: 23.05.2023

Published online: 12.08.2023

ВВЕДЕНИЕ

Среди многообразия неблагоприятных для здоровья жителей Арктики факторов традиционно отмечают дискомфортные природно-климатические условия, к которым у коренного населения, в отличие от пришлого, эволюционно лучше сформировалась адаптация [1]. Современные миграционные процессы обуславливают особую специфику физиологической реактивности и экопатологии в различных популяциях северных территорий, которая во многом может отличаться у поколений пришлых и аборигенных жителей [2].

Как известно, вегетативная нервная и сердечно-сосудистая системы являются для подростков одними из самых быстро реагирующих на изменения равновесия организма с внешней средой, они активно участвуют во всех адаптационно-приспособительных реакциях [1]. По данным кардиоритмографии у подростков-северян наблюдаются высокий уровень централизации управления сердечным ритмом и низкая активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) [3]. Отмечен значимо более высокий риск развития артериальной гипертензии у потомков пришлого населения Ямальского региона по сравнению с коренным ненецким населением [1], также у мигрантов выявляется напряжение механизмов адаптации и смещение вегетативного баланса в сторону симпатического отдела ВНС [4]. Предполагается, что южные регионы РФ с их более благоприятными природно-климатическими условиями проживания могут служить относительным сравнительным эталоном для физиологических критериев оценки территорий.

Пониженная температура окружающей среды провоцирует активизацию симпатического отдела ВНС, что направлено на усиление термогенеза и сохранение адекватного кровообращения в жизненно важных органах [5]. При этом реакция симпатического отдела ВНС обеспечивает катаболизм и расход метаболических ресурсов, в то время как сохранение ресурсов парасимпатического отдела ВНС призвано поддерживать анаболические процессы организма. Иными словами, сохранение адекватных резервов парасимпатической регуляции сердечной деятельности обеспечивает долговременную адаптацию в дискомфортных условиях среды обитания.

В связи с этим выбор наиболее оптимального метода коррекции может основываться на активации парасимпатического отдела ВНС, который преимущественно обеспечивает сердечно-лёгочные взаимодействия и позволяет оптимизировать вегетативный баланс. Одним из перспективных методов немедикаментозной коррекции является биоуправление параметрами variability сердечного ритма (ВСР), при котором происходит усиление вагусных влияний на ритм сердца и снижение явлений симпатикотонии [6, 7]. Предыдущие

исследования показали, что у молодых людей (20–25 лет), проживающих в северо-западном регионе РФ, более выражена фоновая вагусная активность, а эффект кардиобиоуправления (КБУ), направленного на снижение симпатических влияний на ритм сердца, нестабилен. В то же время у людей, проживающих в южных широтах, отмечено выраженное снижение симпатической активности после КБУ [6]. В настоящее время не изучены сравнительные аспекты реактивности сердечно-сосудистой системы у подростков с ещё незавершённым возрастным становлением ВНС, проживающих в различных климатогеографических регионах, при реализации механизма биоуправления по параметрам общей ВСР. Эти сведения необходимы для разработки программ коррекции дезадаптивных состояний с использованием принципа биологической обратной связи у подростков с нарушениями вегетативной регуляции сердечного ритма с учётом их региона проживания.

Цель. Сравнительная оценка динамики показателей сердечно-сосудистой системы при кардиобиоуправлении у подростков с различной исходной вегетативной регуляцией сердечного ритма с учётом их проживания в северных и южном регионах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено поперечное исследование, в котором приняли участие 165 практически здоровых подростков (I–II группы диспансерного наблюдения), проживающих в северо-западном, северо-восточном и южном регионах РФ. В весенний сезон года (апрель) обследованы старшеклассники средних общеобразовательных учреждений г. Архангельска (64°33' с.ш. 40°32' в.д., $n=55$); г. Надыма Ямало-Ненецкого автономного округа (65°32' с.ш. 72°31' в.д., $n=55$) и г. Симферополя Республики Крым (44°57' с.ш. 34°06' в.д., $n=55$). Испытуемых лиц выбирали на добровольной основе. Критериями включения при первичном отборе являлись следующие: возраст 16–17 лет, постоянное проживание в указанных регионах, а также принадлежность к восточнославянской этнической группе (по данным анкетного опроса этническая принадлежность устанавливалась до 4-й степени родства); критерием исключения служило наличие в анамнезе сердечно-сосудистых нарушений и аритмий. Предварительный анализ выборок не выявил выраженных половых различий в изучаемых показателях, что позволило объединить данные по лицам мужского и женского пола. Соотношение юношей и девушек в различных возрастных группах:

- в Архангельске: 16 лет — 12/13; 17 лет — 15/15;
- в Надыме: 16 лет — 10/14; 17 лет — 14/17;
- в Симферополе: 16 лет — 10/12; 17 лет — 16/17.

От всех подростков и их родителей получено письменное информированное согласие на участие в исследовании, одобренном комиссией по биомедицинской этике

Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН (протокол № 3 от 12.02.2020). Исследования выполняли с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и директивах Европейского сообщества (8/609ЕС). Сбор и дальнейшее использование первичного материала в рамках данной работы осуществляли совместно с сотрудниками лаборатории биоритмологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова УрО РАН д.б.н., доцентом Л.В. Поскотиновой, к.б.н. Е.В. Кривоноговой.

Исследования проводили в положении сидя, в комфортной, привычной для испытуемых обстановке в период с 9 до 14 ч. На первом этапе в течение 5 мин регистрировали фоновые показатели ВСП и артериального давления (АД). ВСП оценивали при помощи кардиоинтервалографического исследования с использованием аппаратно-программного комплекса «Варикард» («Рамена», г. Рязань). Система предусматривала автоматическую обработку замеров длительности R–R-интервалов электрокардиограммы во втором стандартном отведении с расчётом показателей ВСП.

При определении преобладающего типа вегетативной регуляции сердечного ритма нами принимались во внимание фоновые значения индекса напряжения регуляторных систем (Stress Index, SI), который отражает активность симпатoadреналовой системы в условиях относительно покоя [8]. Соответственно испытуемые всех регионов были дополнительно разделены на 3 группы: лица с изначальным преобладанием вагусных влияний на кардиоритм (ваготоники, $SI \leq 49$ усл. ед.), лица со сбалансированной вегетативной регуляцией кардиоритма (нормотоники, SI в диапазоне 50–150 усл. ед.) и лица с преобладанием симпатических влияний на кардиоритм (симпатотоники, $SI \geq 151$ усл. ед.).

На втором этапе (также 5 мин) испытуемые групп нормотоников и симпатотоников проходили однократный сеанс КБУ (патент РФ № 2317771) [6]. Для реализации принципа биоуправления обследуемый получал на экране монитора информацию о состоянии общей мощности спектра ВСП (дисперсии кардиоинтервалов) [8] в виде линейного графика и цифровых показателей. В динамике сеанса обновление указанных показателей происходило каждые 4 с по принципу скользящего окна. Перед началом исследования испытуемого инструктировали о том, что изменение графика на экране монитора зависит от его внутреннего состояния, цель тренинга — увеличение общей мощности спектра ВСП (повышение графика). Состояние, отражающее изменение выбранного параметра, формировалось посредством стратегии «свободного поиска» — создания положительно окрашенных мысленных образов в сочетании со спокойным глубоким дыханием с эффективным плавным выдохом и мышечной расслабленностью. При последующей

обработке результатов успешность выполнения процедуры биоуправления оценивали по динамике общей мощности спектра ВСП (total power (TP), ms^2). Испытуемые из групп ваготоников сеанс КБУ не проходили (с учётом его направленности на усиление парасимпатических влияний на ритм сердца).

Артериальное давление (мм рт. ст.) фиксировали на каждом этапе трёхкратно подряд с последующим усреднением показателей при помощи автоматического измерителя АД (тонометра) A&D Medical UA-668 (MEDICAL JAPAN, Япония).

Статистическую обработку полученных результатов проводили при помощи пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). В связи с тем, что в большинстве случаев распределение признаков в выборках не подчинялось закону нормального распределения (оценка по критерию Шапиро–Уилка), использовали непараметрические методы, учитывали медиану (Me), нижний и верхний квартили (25-й; 75-й перцентили). Для проверки статистической гипотезы разности значений применяли критерий Вилкоксона для двух зависимых выборок, критерий Манна–Уитни для двух независимых выборок. Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез принимали $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В соответствии с принципом деления подростков по преобладающему типу вегетативной регуляции сердечного ритма в северо-западном регионе в группу с ваготоническим типом вошли 16 человек (29%; средний возраст — $16,5 \pm 0,5$ года); с нормотоническим типом — 23 человека (42%; $16,6 \pm 0,5$ года); с симпатотоническим типом — 16 человек (29%; $16,8 \pm 0,4$ года). В северо-восточном регионе в группу ваготоников вошли 4 человека (7%; $16,8 \pm 0,5$ года); нормотоников — 26 человек (47%; $16,5 \pm 0,5$ года); симпатотоников — 25 человек (46%; $16,6 \pm 0,5$ года). В южном регионе в группу ваготоников вошли 9 человек (16%; $16,3 \pm 0,5$ года); нормотоников — 27 человек (49%; $16,3 \pm 0,5$ года); симпатотоников — 19 человек (35%; $16,4 \pm 0,5$ года).

Медианы фоновых значений SI, TP и частоты сердечных сокращений (ЧСС) значимо отличались между группами ваготоников, нормотоников и симпатотоников внутри каждого региона ($p < 0,001$), что отражено в табл. 1 и 2. Наименьшие значения SI и ЧСС выявлены в группах ваготоников, а наибольшие — у симпатотоников; соответственно, наименьшие значения TP выявлены в группах симпатотоников, а наибольшие — у ваготоников. Выраженных межрегиональных отличий фоновых значений SI и TP в однотипных группах подростков не установлено, статистически значимо более высокие показатели ЧСС отмечены у ваготоников северо-западного региона в сравнении с аналогичными группами северо-восточного ($p < 0,05$) и южного регионов ($p < 0,01$).

Таблица 1. Изменение показателей variability сердечного ритма в динамике сеанса кардиобиоуправления у подростков с ваготоническим (1), нормотоническим (2) и симпатотоническим (3) типами вегетативной регуляции сердечного ритма, проживающих в северо-западном (I), северо-восточном (II) и южном (III) регионах РФ, Me [25; 75]

Table 1. Changes in heart rate variability in the dynamics of cardiac biocontrol session in adolescents with vagotonic (1), normotonic (2) and sympathotonic (3) types of autonomic regulation of heart rhythm, living in northwestern (I), northeastern (II) and southern (III) regions of Russia (Me [25; 75])

Показатели Indicators	Группа Group	Фон (BL) Baseline (BL)	КБУ (BF) HRV BF (BF)	<i>p</i>
Индекс напряжения регуляторных систем, усл. ед. Stress index, SU	I/1	35,8 [30,7; 44,0]	—	—
	I/2	87,2 [69,9; 117,7]	51,7 [42,7; 78,0]	I/1–I/2 <0,001 BL–BF <0,001
	I/3	226,7 [180,6; 298,2]	67,4 [54,6; 86,3]	I/1–I/3 <0,001 I/2–I/3 <0,001 BL–BF <0,001
	II/1	39,6 [32,6; 41,4]	—	—
	II/2	96,1 [83,5; 125,4]	58,6 [49,1; 82,5]	II/1–II/2 <0,001 BL–BF <0,001
	II/3	267,7 [193,9; 354,9]	115,2 [77,3; 141,1]	II/1–II/3 <0,001 II/2–II/3 <0,001 BL–BF <0,001 BF/I/3–BF/II/3=0,004
	III/1	32,6 [28,0; 44,1]	—	—
	III/2	93,8 [69,9; 108,2]	51,0 [37,9; 68,6]	III/1–III/2 <0,001 BL–BF <0,001
	III/3	242,1 [200,2; 427,8]	141,6 [96,0; 167,4]	III/1–III/3 <0,001 III/2–III/3 <0,001 BL–BF <0,001 BF/I/3–BF/III/3=0,021
Общая мощность спектра variability сердечного ритма ×100, мс ² Total power ×100, ms ²	I/1	54,6 [46,5; 63,2]	—	—
	I/2	23,8 [18,9; 33,6]	77,0 [50,5; 91,7]	I/1–I/2 <0,001 BL–BF <0,001
	I/3	11,6 [9,0; 14,7]	52,0 [35,3; 61,9]	I/1–I/3 <0,001 I/2–I/3 <0,001 BL–BF <0,001
	II/1	45,1 [38,5; 60,6]	—	—
	II/2	23,9 [18,2; 28,9]	56,3 [42,6; 71,3]	II/1–II/2 <0,001 BL–BF <0,001
	II/3	11,1 [7,2; 13,7]	31,5 [25,4; 46,2]	II/1–II/3 <0,001 II/2–II/3 <0,001 BL–BF <0,001 BF/I/3–BF/II/3=0,04
	III/1	67,8 [44,3; 72,4]	—	—
	III/2	26,7 [21,2; 30,3]	77,3 [55,2; 101,3]	III/1–III/2 <0,001 BL–BF <0,001
	III/3	11,8 [7,4; 14,2]	29,5 [25,2; 39,7]	III/1–III/3 <0,001 III/2–III/3 <0,001 BL–BF <0,001 BF/I/3–BF/III/3=0,008

Примечание: КБУ — кардиобиоуправление.

Note: HRV BF — heart rate variability biofeedback.

Таблица 2. Изменение показателей пульса и артериального давления в динамике сеанса кардиобиоуправления у подростков с ваготоническим (1), нормотоническим (2) и симпатотоническим (3) типами вегетативной регуляции сердечного ритма, проживающих в северо-западном (I), северо-восточном (II) и южном (III) регионах РФ, Ме [25; 75]

Table 2. Changes in heart rate and blood pressure in the dynamics of cardiac biocontrol session in adolescents with vagotonic (1), normotonic (2) and sympathotonic (3) types of autonomic regulation of heart rhythm, living in northwestern (I), northeastern (II) and southern (III) regions of Russia (Me [25; 75])

Показатели Indicators	Группа Group	Фон (BL) Baseline (BL)	КБУ (BF) HRV BF (BF)	<i>p</i>
ЧСС, уд./мин Heart rate, bpm	I/1	66,5 [63,9; 73,9]	—	—
	I/2	81,7 [72,6; 86,7]	82,7 [76,6; 86,3]	I/1–I/2 <0,001
	I/3	84,0 [78,9; 91,3]	82,2 [78,6; 89,8]	I/1–I/3 <0,001
	II/1	60,0 [59,8; 62,3]	—	I/1–II/1=0,035
	II/2	76,0 [73,0; 84,0]	79,0 [71,3; 86,0]	II/1–II/2 <0,001
	II/3	84,0 [79,5; 93,0]	86,0 [80,8; 93,0]	II/1–II/3 <0,001 II/2–II/3 <0,001
	III/1	60,0 [58,0; 61,0]	—	I/1–III/1=0,008
	III/2	76,0 [73,0; 82,3]	79,0 [72,3; 85,0]	III/1–III/2 <0,001
	III/3	87,0 [81,0; 96,0]	91,0 [83,0; 98,5]	III/1–III/3 <0,001 III/2–III/3 <0,001
Систолическое АД, мм рт. ст. Systolic BP, mm Hg	I/1	116,5 [113,3; 122,5]	—	—
	I/2	118,0 [114,5; 125,5]	118,0 [111,3; 123,3]	—
	I/3	119,5 [112,0; 134,0]	114,0 [110,3; 127,5]	—
	II/1	115,5 [113,3; 117,3]	—	—
	II/2	116,0 [107,5; 119,5]	115,0 [109,3; 117,0]	I/2–II/2=0,048
	II/3	121,5 [114,0; 126,3]	116,5 [107,0; 123,8]	II/2–II/3=0,012 BL–BF=0,019
	III/1	116,0 [113,0; 119,0]	—	—
	III/2	117,0 [113,0; 122,0]	110,5 [104,5; 118,8]	BL–BF=0,006
	III/3	117,0 [114,5; 124,0]	104,0 [100,0; 115,5]	II/3–III/3=0,032 BL–BF <0,001
Диастолическое АД, мм рт. ст. Diastolic BP, mm Hg	I/1	79,0 [74,5; 82,0]	—	—
	I/2	81,5 [75,3; 87,5]	80,5 [76,5; 84,8]	—
	I/3	82,5 [77,3; 88,5]	79,5 [74,0; 83,8]	—
	II/1	76,5 [72,0; 79,0]	—	—
	II/2	80,0 [72,5; 83,0]	78,0 [73,0; 81,8]	I/2–II/2=0,047
	II/3	87,5 [81,0; 90,3]	85,0 [80,0; 90,0]	II/1–II/3 <0,001 II/2–II/3 <0,001 I/3–II/3=0,045
	III/1	73,0 [72,0; 85,0]	—	—
	III/2	78,0 [74,5; 84,8]	77,5 [74,0; 82,8]	—
	III/3	82,0 [76,0; 88,0]	82,0 [75,0; 86,5]	—

Примечание: ЧСС — частота сердечных сокращений; АД — артериальное давление; КБУ — кардиобиоуправление.
Note: BP — blood pressure; HRV BF — heart rate variability biofeedback.

Во время сеанса КБУ у обследованных подростков из групп нормотоников и симпатотоников из всех регионов медианы управляемого показателя (TP) статистически значимо повышались в сравнении с фоновыми значениями ($p < 0,001$). SI значимо снижался при КБУ также у всех подростков указанных групп ($p < 0,001$). На этапе КБУ-тренинга значимо более высокие показатели TP и более низкие показатели SI выявлены у симпатотоников северо-западного региона в сравнении с аналогичными группами северо-восточного и южного регионов ($p < 0,05-0,01$).

Распределение медиан АД у подростков изучаемых регионов с различным вегетативным тонусом показало тенденцию к более высоким значениям в группах симпатотоников (см. табл. 2). Статистически значимо более высокие уровни систолического и диастолического АД выявлены у симпатотоников северо-восточного региона, как в сравнении с ваготониками ($p < 0,001$) и нормотониками ($p < 0,05-0,001$) того же региона, так и в сравнении с симпатотониками северо-западного ($p < 0,05$) и южного ($p < 0,05$) регионов. В то же время в группе нормотоников северо-западного региона медианы систолического и диастолического АД были значимо выше аналогичной группы северо-восточного региона ($p < 0,05$).

Показатели АД на этапе КБУ-тренинга имели тенденцию к снижению практически у всех подростков, выполнявших процедуру. Наиболее отчетливо это снижение демонстрировали на примере систолического АД группы симпатотоников северо-восточного ($p < 0,05$) и южного ($p < 0,001$) регионов, а также нормотоники южного региона ($p < 0,01$).

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время остаётся открытым вопрос: насколько изменения вегетативной регуляции ритма сердца и центральной гемодинамики являются адаптивными к конкретной окружающей среде обитания, а насколько обуславливают риск развития социально значимых заболеваний подрастающего поколения в Арктике.

Вариабельность сердечного ритма находится под непосредственным контролем центральной и вегетативной нервной систем и является одним из важнейших индикаторов адаптационно-приспособительных процессов в организме [9]. Оценку состояния ВНС подростков осуществляли по фоновым показателям ВСР, в качестве статистической характеристики динамического ряда кардиоинтервалов использовали SI. Как известно, чем меньше величина SI, тем больше активность парасимпатического отдела ВНС, а чем больше величина этого индекса, тем выше активность симпатического отдела, степень централизации управления сердечным ритмом и соответственно — общий сдвиг вегетативного гомеостаза в сторону преобладания симпатической нервной системы над парасимпатической. Кроме того, оценивали фоновую общую

мощность спектра ВСР, отражающую степень парасимпатических влияний на ритм сердца [8].

Почти треть обследованных подростков в северо-западном регионе вошла в группу с ваготоническим типом. Это значимо более высокий показатель в сравнении с двумя другими исследованными регионами. По-видимому, в ходе онтогенетических эволюционных процессов у части потомков коренного поморского населения Севера, в течение многих поколений проживающих на данных территориях, произошли определённые перестройки, оптимизация и адаптация программ взаимодействия с окружающей средой. Существует мнение, что лица, обладающие ваготоническим типом вегетативной регуляции, проявляют энергетически более экономный характер функционирования систем организма, определяющий повышенную устойчивость к действию суровых климатических факторов [10].

В то же время в выборке северо-восточного региона доля лиц с ваготоническим типом была наименьшей, а превалировали подростки со значимым фоновым преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности и с повышенными уровнями АД. Освоение Ямальского региона сопровождается массовым притоком людских ресурсов, преимущественно молодого фертильного возраста, что приводит к быстрому росту доли детского и подросткового населения — до 21% (в целом по РФ — 16%) [1]. В связи с этим проблема качества жизни, физического и психологического здоровья, социального самочувствия коренного и укоренённого здесь подросткового населения приобретает особую актуальность.

По данным литературы, мигранты с ещё незавершёнными механизмами адаптации страдают артериальной гипертензией чаще, при этом у молодых жителей на Севере она протекает более тяжело, чем в средних широтах [2, 4]. По мнению авторов, изменение периферической гемодинамики, по всей вероятности, связано с тем, что возбуждение холодовых рецепторов кожи приводит к активации центров терморегуляции, и это стимулирует эрготропную активность симпатической нервной системы. Вазомоторный ответ сердечно-сосудистой системы опосредуется симпатической активацией, направленной на периферическую вазоконстрикцию, в результате которой за счёт уменьшения периферического кровотока происходит снижение теплопотерь организма [5].

Состояние симпатикотонии традиционно принято рассценивать как преморбидное состояние для формирования артериальной гипертензии. Однако ранее было показано, что умеренная симпатикотония может рассматриваться как возможный вариант адаптивной реакции организма на дискомфортность среды обитания в Арктике, обеспечивающей стабильность функционирования церебральных структур [11] и, возможно, когнитивной деятельности. Следовательно, существует проблема «меры» выраженности симпатикотонии, при которой она обеспечивает

адаптивное значение, а также различной «физиологической платы» органов-мишеней за адаптацию в конкретных климатических условиях.

Столь же актуальна необходимость в физиологическом обосновании применения немедикаментозных методов коррекции изменений сердечно-сосудистой системы с использованием принципов биоуправления с обратной связью в конкретных условиях среды обитания. Немедикаментозная коррекция функциональных нарушений может являться предпочтительной с экономической и реабилитационной точек зрения в силу её связи с патогенезом дисфункции и относительной доступностью и простотой.

В рамках текущего исследования нами показано, что даже при однократном сеансе все участвовавшие подростки смогли успешно выполнить процедуру КБУ. Критерием эффективности служило снижение индекса напряжения и увеличение общей мощности спектра ВСР, при этом испытуемые достигали состояния общей расслабленности, покоя, психического комфорта и эмоционального равновесия. Известно, что при коротких записях кардиоинтервалограммы (5 мин) показатель общей мощности спектра ВСР отражает не только общую вариабельность ритма сердца, но и степень сохранности вагусных механизмов сердечной регуляции [8]. Следовательно, с увеличением общей мощности ритма сердца в данном временном диапазоне в процессе кардиотренинга можно увеличить резерв парасимпатического отдела нервной системы на ритм сердца. Учитывая, что показатель TP в отличие от стандартного отклонения кардиоинтервалов (SDNN, мс) содержит минимальный вклад непериодических (недыхательных) волн, можно полагать, что эффект биоуправления достигается за счёт увеличения вклада в первую очередь дыхательной и барорефлекторной составляющих спектра ВСР [7].

Более значимые реакции ВСР на процедуру КБУ выявлены у симпатотоников северо-западного региона при относительной стабильности у них уровней АД и барорефлекса, что может говорить о высоком уровне централизации управления сердечным ритмом. При этом снижение систолического АД после сеанса КБУ у подростков с симпатикотонией из северо-восточного и южного регионов, вероятно, связано с действием барорецепторов. Незначительное повышение ЧСС у данных лиц может расцениваться как более сильная эмоциональная реакция на новизну первого сеанса КБУ и «вработывание» в новый для подростка когнитивный процесс. Ранее показано, что КБУ-тренинг вызывает нейропластичность барорефлекса у людей с гипертонией, тем самым снижая и контролируя изменение АД [12]. Что касается уровней диастолического АД, то в большинстве исследований после КБУ-терапии выявлено статистически значимое его снижение [13, 14]. Кроме того, замечено, что пациенты с более высокой симпатической возбудимостью (т.е. с более высоким исходным уровнем АД,

более высокой ЧСС, холодными руками и повышенным электромиографическим ответом) могут лучше реагировать на КБУ-тренинги [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнении исследуемых выборок старшеклассников, проживающих в населённых пунктах Арктического региона и южного региона РФ, установлено, что наибольший вклад в исходный тип вегетативной регуляции сердечного ритма и уровни артериального давления, вероятно, вносят климатогеографические условия и длительность проживания на Севере. Максимальную представленность во всех регионах имели лица с нормотоническим типом (42–49%), при этом доля лиц с ваготоническим типом была наименьшей в северо-восточном регионе (7%), а наибольшей — в северо-западном (29%). В то же время в северо-восточном регионе превалировала доля лиц (46%) со значимым фоновым преобладанием симпатических влияний на активность сердечной деятельности и повышенными уровнями давления в магистральных сосудах. В северо-западном и южном регионах подростки с симпатотоническим типом составляли примерно треть от всех выборок (29–35%), исходные уровни артериального давления значимо не различались в данных группах.

Способность обследованных подростков изменять активность параметров ритма сердца в ходе кардиобиоуправления может также определять степень его воздействия и на функции центральных структур вегетативной регуляции. Тренинг кардиобиоуправления был успешным у всех его участников, при этом показатели вариабельности ритма сердца статистически значимо сильнее реагировали на эту процедуру у симпатотоников северо-западного региона при относительной стабильности у них уровней артериального давления и барорефлекса. В то же время подростки с симпатикотонией из северо-восточного и южного регионов характеризовались сохранением повышенной частоты пульса относительно возрастных нормативов после кардиобиоуправления, что сопровождалось более явной сосудистой реакцией (значимое снижение артериального давления) и выраженностью барорефлекторной реакции.

Симпатикотония, функциональное напряжение адаптивных функций, увеличенная сосудистая реакция на тренинг кардиобиоуправления могут быть характерными для подростков северо-восточного региона, являющихся в большинстве потомками в первом поколении переселенцев из более южных регионов. При этом потомки коренных жителей северо-западного региона, по-видимому, могут обладать более совершенными наследственно закреплёнными механизмами адаптации сердечно-сосудистой системы к более суровым условиям постоянного проживания в Арктике.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад автора. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (автор внёс существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочёл и одобрил финальную версию перед публикацией).

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы ФНИР ИПА ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН № 122011300469-7.

Конфликт интересов отсутствует.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. The author confirms that his authorship complies with the international ICMJE criteria. The author developed the concept, conducted the research, wrote the article and approved its final version.

Funding sources. This research was funded by FECIAR UrB RAS, project number 122011300469-7.

Competing interests. No conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьякович М.П., Дьякович О.А. Связанное со здоровьем качество жизни подростков Ямало-Ненецкого автономного округа // Экология человека. 2017. Т. 24, № 3. С. 43–48. doi: 10.33396/1728-0869-2017-3-43-48
2. Корчин В.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М., и др. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения // Журнал медико-биологических исследований. 2021. Т. 9, № 1. С. 77–88. doi: 10.37482/2687-1491-Z046
3. Артамонова С.Ю., Аммосова А.М., Захарова Н.М., и др. Состояние вегетативной нервной системы у подростков города Якутска // Вестник Северо-восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Медицинские науки. 2018. № 4. С. 33–38. doi: 10.25587/SVFU.2018.4(13).20742
4. Лытаев С.А., Толстова Е.А. Вегетативный статус при артериальной гипертензии у коренных жителей Крайнего Севера и мигрантов // Педиатр. 2016. Т. 7, № 3. С. 56–62. doi: 10.17816/PED7356-62
5. Коробицына Е.В., Мелькова Л.А., Гудков А.Б. Влияние локального охлаждения кожи кисти и стопы на показатели периферической гемодинамики у юношей и девушек Европейского Севера России // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2016. № 4. С. 22–29. doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.4.22
6. Поскотинова Л.В. Вегетативная регуляция ритма сердца и эндокринный статус молодежи в условиях Европейского Севера России. Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2010. 232 с.
7. Lehrer P., Kaur K., Sharma A. Heart rate variability biofeedback improves emotional and physical health and performance: a systematic review and meta analysis // Appl Psychophysiol Biofeedback. 2020. Vol. 45, N 3. P. 109–129. doi: 10.1007/s10484-020-09466-z
8. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods // *Cardiometry*. 2017. N 10. P. 66–76. doi: 10.12710/cardiometry.2017.6676
9. Singh N., Moneghetti K.J., Christle J.W., et al. Heart rate variability: an old metric with new meaning in the era of using mhealth technologies for health and exercise training guidance. Part one: physiology and methods // *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2018. Vol. 7, N 3. P. 193–198. doi: 10.15420/aer.2018.27.2
10. Oikawa L.O. Characteristics of possible "Polar adaptation" by long-term wintering in antarctica observed through analysis of heart rate variability (HRV) components representing autonomic nervous system (ANS) response // *Journal of the Neurological Sciences*. 2017. Vol. 381. P. 935. doi: 10.1016/j.jns.2017.08.2631
11. Дёмин Д.Б., Поскотинова Л.В., Кривоногова Е.В. ЭЭГ-реакции в динамике кардиобиоуправления у подростков с различным вегетативным тонусом, проживающих на северных широтах // Экология человека. 2016. Т. 23, № 10. С. 23–30. doi: 10.33396/1728-0869-2016-10-23-30
12. Lin G., Xiang Q., Fu X., et al. Heart rate variability biofeedback decreases blood pressure in prehypertensive subjects by improving autonomic function and baroreflex // *J Altern Complement Med*. 2012. Vol. 18, N 2. P. 143–152. doi: 10.1089/acm.2010.0607
13. Nolan R.P., Floras J.S., Harvey P.J., et al. Behavioral neurocardiac training in hypertension: a randomized, controlled trial // *Hypertension*. 2010. Vol. 55, N 4. P. 1033–1039. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.146233
14. Olsson E.M., El Alaoui S., Carlberg B., et al. Internet-based biofeedback-assisted relaxation training in the treatment of hypertension: a pilot study // *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2010. Vol. 35, N 2. P. 163–170. doi: 10.1007/s10484-009-9126-x
15. Moravec C.S. Biofeedback therapy in cardiovascular disease: rationale and research overview // *Cleve Clin J Med*. 2008. Vol. 75, Suppl. 2. P. 35–38. doi: 10.3949/ccjm.75.suppl_2.s35

REFERENCES

1. Dyakovich MP, Dyakovich OA. Health related quality of life of adolescents living in the Yamal-Nenets autonomous area. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(3):43–48. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2017-3-43-48
2. Korchin VI, Korchina TYa, Ternikova EM, et al. Influence of climatic and geographical factors of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the health of its population (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(1):77–88. (In Russ). doi: 10.37482/2687-1491-Z046
3. Artamonova SU, Ammosova AM, Zakharova NM, et al. The state of autonomic nervous system in teenagers of the city of Yakutsk. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Medical Sciences*. 2018;(4):33–38. (In Russ). doi: 10.25587/SVFU.2018.4(13).20742

4. Lytaev SA, Tolstova EA. Vegetative status with arterial hypertension in the indigenous population of the Far North and migrants. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2016;7(3):56–62. (In Russ). doi: 10.17816/PED7356-62
5. Korobitsyna EV, Mel'kova LA, Gudkov AB. Impact of local hand and foot skin cooling on peripheral hemodynamic parameters in young men and women in the European North of Russia. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seria: Mediko-biologicheskie nauki*. 2016;(4):22–29. (In Russ). doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.4.22
6. Poskotinova LV. *Vegetativnaja reguljacija ritma serdca i jendokrinnij status molodezhi v uslovijah Evropejskogo Severa Rossii*. Yekaterinburg: Ural Branch of RAS. 2010. 232 p. (In Russ).
7. Lehrer P, Kaur K, Sharma A. Heart rate variability biofeedback improves emotional and physical health and performance: a systematic review and meta analysis. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2020;45(3):109–129. doi: 10.1007/s10484-020-09466-z
8. Baevsky RM, Chernikova AG. Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods. *Cardiometry*. 2017;(10):66–76. doi: 10.12710/cardiometry.2017.6676
9. Singh N, Moneghetti KJ, Christle JW, et al. Heart rate variability: an old metric with new meaning in the era of using mhealth technologies for health and exercise training guidance. Part one: physiology and methods. *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2018;7(3):193–198. doi: 10.15420/aer.2018.27.2
10. Oikawa LO. Characteristics of possible "Polar adaptation" by long-term wintering in antarctica observed through analysis of heart rate variability (HRV) components representing autonomic nervous system (ANS) response. *Journal of the Neurological Sciences*. 2017;381:935. doi: 10.1016/j.jns.2017.08.2631
11. Demin DB, Poskotinova LV, Krivonogova EV. EEG reactions during heart rate variability biofeedback procedure in adolescents with different autonomic tone living in Northern areas. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2016;23(10):23–30. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2016-10-23-30
12. Lin G, Xiang Q, Fu X, et al. Heart rate variability biofeedback decreases blood pressure in prehypertensive subjects by improving autonomic function and baroreflex. *J Altern Complement Med*. 2012;18(2):143–152. doi: 10.1089/acm.2010.0607
13. Nolan RP, Floras JS, Harvey PJ, et al. Behavioral neurocardiac training in hypertension: a randomized, controlled trial. *Hypertension*. 2010;55(4):1033–1039. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.146233
14. Olsson EM, El Alaoui S, Carlberg B, et al. Internet-based biofeedback-assisted relaxation training in the treatment of hypertension: a pilot study. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2010;35(2):163–170. doi: 10.1007/s10484-009-9126-x
15. Moravec CS. Biofeedback therapy in cardiovascular disease: rationale and research overview. *Cleve Clin J Med*. 2008; 75 Suppl. 2:S35–S38. doi: 10.3949/ccjm.75.suppl_2.s35

ОБ АВТОРЕ

* **Дёмин Денис Борисович**, д.м.н.,
старший научный сотрудник;
адрес: Российская Федерация; 163000, Архангельск,
проспект Ломоносова, д. 249;
ORCID: 0000-0001-7912-9226;
eLibrary SPIN: 6565-4657;
e-mail: denisdemin@mail.ru

AUTHOR INFO

* **Denis B. Demin**, MD, Dr. Sci. (Med.),
senior research associate;
address: 249 Lomonosov avenue, 163000 Arkhangelsk,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0001-7912-9226;
eLibrary SPIN: 6565-4657;
e-mail: denisdemin@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217681>

Оценка канцерогенного риска воздействия химических веществ, поступающих с пищевыми продуктами, на основе региональных факторов экспозиции

О.А. Фролова¹, Е.П. Бочаров², Е.А. Тафеева³

¹ Казанская государственная медицинская академия — филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, Казань, Российская Федерация;

² Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан), Казань, Российская Федерация;

³ Казанский государственный медицинский университет, Казань, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время накоплено достаточно данных, свидетельствующих о рисках развития различных токсических эффектов из-за воздействия химических веществ, поступающих в организм человека с загрязнёнными продуктами питания.

Цель. Оценка канцерогенного риска здоровью населения Республики Татарстан, связанного с химическим загрязнением пищевых продуктов, на основе региональных факторов экспозиции.

Методы. Для оценки риска использованы результаты исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов за 2006–2019 гг., выполненных в испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан». Расчёты проводили по следующим группам продовольственного сырья и продуктов питания: мясо и мясopодукты; рыба и рыбopодукты; молоко и молочные продукты; хлеб и хлебобулочные изделия; сахар и кондитерские изделия; овощи и бахчевые (исключая картофель); картофель; фрукты и ягоды; растительные масла; яйца.

Результаты. В результате идентификации опасности установлено, что приоритетными для последующей оценки канцерогенного риска являются следующие вещества, содержащиеся в продуктах питания: гексахлоран, α -линдан, β -линдан, линдан, гептахлор, циперметрин, дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты, бенз(а)пирен, производные 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), мышьяк, кадмий, свинец. Установлено, что суммарный канцерогенный риск воздействия изучаемых химических веществ, загрязняющих продукты питания, колеблется от настоящего живающего ($7,9 \times 10^{-4}$) до высокого (от $2,2 \times 10^{-3}$ до $1,9 \times 10^{-2}$) для различных схем экспозиции.

Заключение. Суммарный канцерогенный риск формируется преимущественно в результате загрязнения пестицидами (гептахлор, α -линдан, β -линдан, линдан) и мышьяком, поступающими в основном с овощами, хлебом и хлебобулочными изделиями, молоком и молочными продуктами.

Ключевые слова: продовольственное сырьё; пищевые продукты; тяжёлые металлы, пестициды; экспозиция; канцерогенный риск; здоровье.

Как цитировать:

Фролова О.А., Бочаров Е.П., Тафеева Е.А. Оценка канцерогенного риска воздействия химических веществ, поступающих с пищевыми продуктами, на основе региональных факторов экспозиции // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 385–394. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217681>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217681>

Assessment of carcinogenic risk associated with chemical exposure from food products

Oksana A. Frolova¹, Yevgeniy P. Bocharov², Elena A. Tafeeva³

¹ Kazan State Medical Academy — Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Kazan, Russian Federation;

² Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan (Tatarstan), Kazan, Russian Federation;

³ Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: A substantial amount of data has been accumulated on the risks of developing toxic effects caused by exposure to chemicals that enter the human body with contaminated food items.

AIM: To assess the carcinogenic risk posed to the population's health in the Republic of Tatarstan due to chemical contamination in food products, considering regional exposure factors

METHODS: Data were obtained from the studies of food raw materials and food products performed by the testing laboratory center of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Republic of Tatarstan (Tatarstan) in 2006–2019. Calculations of the carcinogenic risks were performed for the following food categories: meat and meat products, fish and fish products, milk and dairy products, bread and bakery products, sugar and confectionery, vegetables and melons (excluding potatoes), potatoes, fruits and berries, vegetable oils, and eggs.

RESULTS: Based on the hazard identification, it has been determined that the following substances present in food require immediate attention for the assessment of their potential carcinogenic risk: hexachlorane, α -lindane, β -lindane, lindane, heptachlor, cypermethrin, dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and its metabolites, benzo(a)pyrene, derivatives of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), arsenic, cadmium, and lead. The total carcinogenic risk from exposure to the studied chemicals that contaminate food products ranges from worrying (7.9×10^{-4}) to high (from 2.2×10^{-3} to 1.9×10^{-2}) for various exposure schemes.

CONCLUSION: The overall carcinogenic risk primarily arises from contamination with pesticides: heptachlor, α -lindane, β -lindane, lindane and arsenic originating mainly from vegetables, bread and bakery products, milk and dairy products.

Keywords: food raw materials; food products; heavy metals; pesticides; exposure; carcinogenic risk; health.

To cite this article:

Frolova OA, Bocharov YeP, Tafeeva EA. Assessment of carcinogenic risk associated with chemical exposure from food products. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):385–394. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco217681>

Received: 10.02.2023

Accepted: 07.08.2023

Published online: 22.08.2023

ВВЕДЕНИЕ

За последние 40 лет достигнуты значительные успехи в понимании того, как химические вещества и токсины, содержащиеся в продуктах питания (ПП), могут самым разнообразным образом воздействовать на здоровье человека [1]. Влияние питания на организм человека рассматривается не только с точки зрения обеспечения физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии, но и с позиции потенциальных рисков, обусловленных антропогенными контаминантами [2, 3].

В настоящее время накоплено много данных, свидетельствующих о рисках развития токсических эффектов, обусловленных воздействием химических веществ, поступающих в организм человека с загрязнёнными ПП. К ним относятся риски развития заболеваний сердечно-сосудистой системы, связанные с поступлением мышьяка [4]; когнитивные нарушения и нейротоксические эффекты, обусловленные воздействием свинца [5]; нарушения роста и веса детей, а также иммунные дисфункции, вызванные поступлением микотоксинов [6, 7]; хронические заболевания почек, обусловленные воздействием кадмия и охратоксина А [8].

Опасность тяжёлых металлов (ТМ) заключается в том, что благодаря способности накапливаться в жизненно важных органах (печень, почки, сердце, головной мозг) они способны нарушать основные метаболические процессы, оказывают негативное воздействие на функции центральной нервной системы, активность ферментов и гормонов. Оксидативный стресс, возникающий в результате воздействия ТМ, может привести к различным видам рака, неврологическим расстройствам, повреждению функции печени, почек, а также эндокринным нарушениям [9–11].

Методология оценки риска здоровью является важным инструментом при регулировании отношений в сфере обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения (организации риск-ориентированного надзора (контроля)) в самых разных сферах, в том числе при обеспечении безопасности пищевой продукции [12, 13].

Цель исследования. Оценка канцерогенного риска здоровью населения Республики Татарстан, связанного с химическим загрязнением пищевых продуктов, на основе региональных факторов экспозиции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Оценку риска здоровью населения проводили в соответствии с Руководством по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду (Р 2.1.10.1920-04)¹.

¹ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 марта 2004 г.). Дата обращения: 15.11.2022. Доступ по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399>

Для оценки риска были использованы результаты исследований продовольственного сырья (ПС) и ПП за 2006–2019 гг., выполненные в испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)».

При определении экспозиции и канцерогенного риска ПС и ПП были распределены на следующие группы: мясо и мясопродукты; рыба и рыбопродукты; молоко и молочные продукты; хлеб и хлебобулочные изделия; сахар и кондитерские изделия; овощи и бахчевые (исключая картофель); картофель; фрукты и ягоды; растительные масла; яйца. Суточные дозы химических веществ рассчитывали по методике, представленной в Методических указаниях МУ 2.3.7–2519–09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население»². Расчёты были проведены для концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в ПС и ПП на уровне медианы и 90-го перцентиля. С учётом того факта, что при лабораторных исследованиях определяется общее содержание мышьяка, а канцерогеном является неорганический мышьяк, при проведении расчётов канцерогенного риска нами были использованы соответствующие коэффициенты для различных групп продуктов (от установленного значения общего содержания мышьяка) [14].

При определении фактического количества потребляемых населением Республики Татарстан ПП применяли метод изучения фактического питания по анализу частоты потребления пищи с использованием стандартизированного опросника [15].

Риск здоровью оценивали для шести различных вариантов экспозиции: I вариант — на основе медианных значений (Me) индивидуального потребления ПП и содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения среднего уровня поступления ЗВ); II вариант — по Me индивидуального потребления ПП и 90-му перцентилю (P 90) содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения уровня воздействия ЗВ при верхней границе контаминации); III вариант — на основе P 90 индивидуального потребления ПП и Me содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения уровня поступления ЗВ при употреблении повышенного количества ПП); IV вариант — на основе значений P 90 индивидуального потребления ПП и содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для «наихудшего» сценария — при потреблении населением повышенного количества ПП в сочетании с загрязнением ПС и ПП на уровне верхней границы контаминации); V вариант — на основе среднего уровня потребления ПП, определённого при выборочном обследовании бюджетов домашних хозяйств (ОБДХ) и Me

² Методические указания МУ 2.3.7-2519-09 «Определение экспозиции и оценка риска воздействия химических контаминантов пищевых продуктов на население» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 июня 2009 г.). Дата обращения: 15.11.2022. Доступ по ссылке: <https://docs.cntd.ru/document/1200080418>

содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения уровня ЗВ при индивидуальном уровне потребления ПП и среднем уровне поступления ЗВ с ПС и ПП); VI вариант — на основе среднего уровня потребления ПП, определённого при выборочном ОБДХ, и Р 90 содержания ЗВ в различных группах ПС и ПП (для определения уровня поступления ЗВ при индивидуальном уровне потребления ПП с поступлением ЗВ на уровне верхней границы контаминации ПС и ПП).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На 1-м этапе оценки риска (идентификация опасности) установлен перечень приоритетных для оценки риска развития канцерогенных эффектов веществ. Эти вещества отбирали из 130 химических веществ, обнаруживаемых при лабораторных испытаниях в ПС и ПП. Критерии отбора химических веществ в список приоритетных для последующего анализа, а также условия исключения применяли в соответствии с рекомендациями (см. Р 2.1.10.1920-04). Список приоритетных для последующего анализа включал следующие вещества, содержащиеся в ПС и ПП: гексахлоран, α -линдан, β -линдан, линдан, гептахлор, циперметрин, дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты, бенз(а)пирен, производные 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), мышьяк, кадмий, свинец.

На 2-м этапе (оценка зависимости доза-эффект) использовали значения факторов наклона (канцерогенного потенциала) для перорального поступления канцерогенов,

отражающие рост вероятности развития канцерогенного эффекта при увеличении дозы на 1 мг/кг. Из учтённых канцерогенных веществ наиболее высокими значениями фактора наклона характеризуются бенз(а)пирен ($SF_0=7,3$ (мг/(кг×сут))⁻¹), α -линдан ($SF_0=6,3$), гептахлор ($SF_0=4,5$), гексахлоран ($SF_0=1,8$), β -линдан ($SF_0=1,8$) и мышьяк ($SF_0=1,5$).

На 3-м этапе оценки риска (оценка экспозиции) установлены различные варианты экспозиции, проведена оценка фактического питания населения Республики Татарстан.

На заключительном этапе рассчитан риск и дана его характеристика. Количество потребляемых взрослым населением республики ПП, использованное для расчёта риска в соответствии с различными вариантами экспозиции, представлено в табл. 1.

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR), рассчитанный по варианту I, оценивается как настояжывающий — $7,90 \times 10^{-4}$. Основные вещества, вносящие наибольший вклад в развитие ICR: гептахлор (71,40%), α -линдан (17,30%), β -линдан (4,40%), As (2,70%), линдан (1,50%), ДДТ (1,50%), Cd (0,60%) (табл. 2). Вклад ПП в величину ICR составил: за счёт овощей и бахчевых — 22,60% ($1,8 \times 10^{-4}$); хлеба и хлебобулочных изделий — 18,0% ($1,4 \times 10^{-4}$); картофеля — 17,80% ($1,4 \times 10^{-4}$); фруктов и ягод — 13,60% ($1,1 \times 10^{-4}$); молока и молочных продуктов — 13,0% ($1,0 \times 10^{-4}$); мяса и мясных продуктов — 7,80% ($6,1 \times 10^{-5}$); сахара и кондитерских изделий — 2,70% ($2,1 \times 10^{-5}$); растительных масел — 1,90% ($1,5 \times 10^{-5}$); рыбы

Таблица 1. Количество продуктов питания, потребляемых взрослым населением Республики Татарстан, кг/день

Table 1. The amount of food consumed by the adult population of the Republic of Tatarstan (kg/day)

Пищевые продукты Food products	Фактическое потребление The actual consumption		ОБДХ — 95% верхняя доверительная граница среднего значения HBS — 95% upper confidence limit of the mean value (M)
	Me	P 90	
Мясо и мясные продукты Meat and meat products	0,10	0,25	0,22
Рыба и рыбопродукты Fish and fish products	0,01	0,03	0,05
Молоко и молочные продукты Milk and dairy products	0,18	0,52	0,79
Хлеб и хлебобулочные изделия Bread and bakery products	0,27	0,62	0,28
Сахар и кондитерские изделия Sugar and confectionery	0,04	0,11	0,09
Овощи и бахчевые (исключая картофель) Vegetables and gourds (excluding potatoes)	0,29	0,85	0,29
Картофель Potato	0,04	0,16	0,25
Фрукты и ягоды Fruits and berries	0,21	0,63	0,23
Растительные масла Vegetable oils	0,01	0,03	0,02
Яйца Eggs	0,01	0,03	0,04

Примечание: ОБДХ — обследование бюджетов домашних хозяйств.

Note: HBS — household budget survey.

Таблица 2. Ранжирование канцерогенных веществ по вкладу в суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR) (варианты экспозиции I, II)**Table 2.** Ranking of substances according to their contribution to the total individual carcinogenic risk (ICR) (exposure options I, II)

Химические соединения Chemical compounds	Вариант I Option I		Вариант II Option II	
	Вклад, % Contribution, %	ICR	Вклад, % Contribution, %	ICR
α-Линдан α-Lindane	17,30	$1,4 \times 10^{-4}$	47,5	$3,2 \times 10^{-3}$
β-Линдан β-Lindane	4,40	$3,5 \times 10^{-5}$	11,8	$7,9 \times 10^{-4}$
Линдан Lindane	1,50	$1,2 \times 10^{-5}$	4,7	$3,2 \times 10^{-4}$
Гексахлоран Hexachloran	0,08	$5,6 \times 10^{-7}$	0,1	$7,03 \times 10^{-6}$
Гептахлор Heptachlor	71,40	$5,6 \times 10^{-4}$	24,6	$1,7 \times 10^{-3}$
Циперметрин Cypermethrin	0,070	$4,8 \times 10^{-7}$	3,0	$2,02 \times 10^{-4}$
ДДТ и метаболиты DDT and metabolites	1,50	$1,2 \times 10^{-5}$	1,3	$8,9 \times 10^{-5}$
2,4-Д 2,4-D	0	0	0,1	$5,4 \times 10^{-6}$
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	0,15	$1,1 \times 10^{-6}$	0,2	$1,5 \times 10^{-5}$
Мышьяк (As) Arsenic (As)	2,70	$2,1 \times 10^{-5}$	5,6	$3,7 \times 10^{-4}$
Кадмий (Cd) Cadmium (Cd)	0,60	$4,9 \times 10^{-6}$	1,0	$6,9 \times 10^{-5}$
Свинец (Pb) Lead (Pb)	0,30	$1,9 \times 10^{-6}$	0,1	$8,2 \times 10^{-6}$
Суммарный ICR Total ICR	100	$7,9 \times 10^{-4}$	100	$6,7 \times 10^{-3}$

и рыбопродуктов — 1,80% ($1,4 \times 10^{-5}$); яиц — 0,87% ($6,9 \times 10^{-6}$).

Суммарный канцерогенный риск, рассчитанный по варианту II, оценивается как высокий и составляет $6,7 \times 10^{-3}$. Наибольший вклад вносят α-линдан — 47,5% ($3,2 \times 10^{-3}$); гептахлор — 24,6% ($1,7 \times 10^{-3}$); β-линдан — 11,8% ($7,9 \times 10^{-4}$); As — 5,6% ($3,7 \times 10^{-4}$); линдан — 4,7% ($3,2 \times 10^{-4}$); циперметрин — 3,0% ($2,02 \times 10^{-4}$); ДДТ — 1,3% ($8,9 \times 10^{-5}$); Cd — 1,0% ($6,9 \times 10^{-5}$) (см. табл. 2). Структуру суммарного канцерогенного риска по варианту II формируют следующие группы продуктов: 30,10% ($2,1 \times 10^{-3}$) — хлеб и хлебобулочные изделия; 24,10% ($1,7 \times 10^{-3}$) — овощи и бахчевые; 13,70% ($9,7 \times 10^{-4}$) — фрукты и ягоды; 11,30% ($7,9 \times 10^{-4}$) — молоко и молочные продукты; 9,50% ($6,7 \times 10^{-4}$) — мясо и мясопродукты; 4,80% ($3,4 \times 10^{-4}$) — сахар и кондитерские изделия; 4,0% ($2,8 \times 10^{-4}$) — картофель; 1,30% ($9,2 \times 10^{-5}$) — растительные масла; 0,68% ($4,8 \times 10^{-5}$) — рыба и рыбопродукты; 0,56% ($3,9 \times 10^{-5}$) — яйца.

Согласно расчётам по варианту III (уровень поступления ЗВ при употреблении повышенного количества ПП), суммарный канцерогенный риск классифицируется как высокий ($2,4 \times 10^{-3}$). Наибольший вклад вносят гептахлор (66,1%), α-линдан (21,3%), β-линдан (6,3%), As (2,4%), линдан (1,5%), ДДТ (1,3%), Cd (0,6%) (табл. 3). Суммарный канцерогенный риск, согласно расчётам по варианту III, формируется за счёт следующих ПП: картофель — 24,0% ($5,8 \times 10^{-4}$); овощи и бахчевые — 21,9% ($5,3 \times 10^{-4}$); хлеб и хлебобулочные изделия — 13,8% ($3,3 \times 10^{-4}$); фрукты и ягоды — 13,4% ($3,2 \times 10^{-4}$); молоко и молочные

продукты — 12,6% ($3,0 \times 10^{-4}$); мясо и мясопродукты — 6,0% ($1,5 \times 10^{-4}$); рыба и рыбопродукты — 3,1% ($7,6 \times 10^{-5}$); сахар и кондитерские изделия — 2,4% ($5,8 \times 10^{-5}$); растительные масла — 1,8% ($4,4 \times 10^{-5}$); яйца — 0,9% ($2,2 \times 10^{-5}$).

Канцерогенный риск, рассчитанный по варианту IV, оценивается как высокий ($1,95 \times 10^{-2}$). Он формируется по большей части за счёт α-линдана (61,7%), β-линдана (13,5%), гептахлора (9,8%), линдана (6,6%), As (5,0%), ДДТ (1,8%), Cd (1,0%) (см. табл. 3). Группы продуктов, формирующие структуру суммарного канцерогенного риска при данном варианте экспозиции, ранжируются в следующем порядке: овощи и бахчевые — 25,70% ($5,0 \times 10^{-3}$); хлеб и хлебобулочные изделия — 25,30% ($4,95 \times 10^{-3}$); фрукты и ягоды — 14,90% ($2,9 \times 10^{-3}$); молоко и молочные продукты — 11,90% ($2,3 \times 10^{-3}$); мясо и мясопродукты — 8,1% ($1,6 \times 10^{-3}$); картофель — 5,9% ($1,2 \times 10^{-3}$); кондитерские изделия — 4,70% ($9,2 \times 10^{-4}$); растительные масла — 1,30% ($2,6 \times 10^{-4}$); рыба и рыбопродукты — 1,30% ($2,6 \times 10^{-4}$); яйца — 0,63% ($1,2 \times 10^{-4}$).

Согласно расчётам по варианту V, суммарный канцерогенный риск характеризуется как высокий ($1,97 \times 10^{-3}$). Основной вклад вносят гептахлор (51,4%), α-линдан (31,9%), β-линдан (10,1%), As (3,1%), линдан (1,5%), ДДТ (1,1%), Cd (0,5%) (табл. 4). Структура вклада ПП в суммарный канцерогенный риск при расчётах согласно варианту V: картофель — 43,9% ($8,6 \times 10^{-4}$); молоко и молочные продукты — 21,5% ($4,2 \times 10^{-4}$); овощи и бахчевые — 7,4% ($1,5 \times 10^{-4}$); хлеб и хлебобулочные изделия — 7,1% ($1,4 \times 10^{-4}$); мясо и мясопродукты — 6,1% ($1,2 \times 10^{-4}$);

фрукты и ягоды — 5,6% ($1,1 \times 10^{-4}$); рыба и рыбопродукты — 3,2% ($6,2 \times 10^{-5}$); сахар и кондитерские изделия — 2,3% ($4,6 \times 10^{-5}$); растительные масла — 1,5% ($3,0 \times 10^{-5}$); яйца — 1,4% ($2,8 \times 10^{-5}$).

Суммарный канцерогенный риск, рассчитанный по варианту VI, относится к высокому ($1,2 \times 10^{-2}$). Формируется он по большей части за счёт α -линдана (56,9%), β -линдана (14,6%), гептахлора (11,3%), линдана (7,3%), As (6,0%),

Таблица 3. Ранжирование канцерогенных веществ по вкладу в суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR) (варианты экспозиции III, IV)

Table 3. Ranking of substances according to their contribution to the total individual carcinogenic risk (ICR) (exposure options III, IV)

Химические соединения Chemical compounds	Вариант III Option III		Вариант IV Option IV	
	Вклад, % Contribution, %	ICR	Вклад, % Contribution, %	ICR
α -Линдан α -Lindane	21,3	$5,1 \times 10^{-4}$	61,7	$1,2 \times 10^{-2}$
β -Линдан β -Lindane	6,3	$1,5 \times 10^{-4}$	13,5	$2,6 \times 10^{-3}$
Линдан Lindane	1,5	$3,6 \times 10^{-5}$	6,6	$1,3 \times 10^{-3}$
Гексахлоран Hexachloran	0,1	$1,8 \times 10^{-6}$	0,1	$2,3 \times 10^{-5}$
Гептахлор Heptachlor	66,1	$1,6 \times 10^{-3}$	9,8	$1,9 \times 10^{-3}$
Циперметрин Cypermethrin	0,1	$1,5 \times 10^{-6}$	0,0	$1,7 \times 10^{-6}$
ДДТ и метаболиты DDT and metabolites	1,3	$3,4 \times 10^{-5}$	1,8	$3,6 \times 10^{-4}$
2,4-Д 2,4-D	0,0	0	0,1	$1,5 \times 10^{-5}$
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	0,1	$2,9 \times 10^{-6}$	0,2	$4,2 \times 10^{-5}$
Мышьяк (As) Arsenic (As)	2,4	$5,7 \times 10^{-5}$	5,0	$9,7 \times 10^{-4}$
Кадмий (Cd) Cadmium (Cd)	0,6	$1,4 \times 10^{-5}$	1,0	$1,9 \times 10^{-4}$
Свинец (Pb) Lead (Pb)	0,2	$5,2 \times 10^{-6}$	0,2	$2,9 \times 10^{-5}$
Суммарный ICR Total ICR	100	$2,4 \times 10^{-3}$	100	$1,9 \times 10^{-2}$

Таблица 4. Ранжирование канцерогенных веществ по вкладу в суммарный индивидуальный канцерогенный риск (ICR) (варианты экспозиции V, VI)

Table 4. Ranking of substances according to their contribution to the total individual carcinogenic risk (ICR) (exposure options V, VI)

Химические соединения Chemical compounds	Вариант V Option V		Вариант VI Option VI	
	Вклад, % Contribution, %	ICR	Вклад, % Contribution, %	ICR
α -Линдан α -Lindane	31,9	$6,9 \times 10^{-4}$	56,9	$7,5 \times 10^{-3}$
β -Линдан β -Lindane	10,1	$2,2 \times 10^{-4}$	14,6	$1,9 \times 10^{-3}$
Линдан Lindane	1,5	$3,2 \times 10^{-5}$	7,3	$9,7 \times 10^{-4}$
Гексахлоран Hexachloran	0,1	$2,6 \times 10^{-6}$	0,3	$3,2 \times 10^{-5}$
Гептахлор Heptachlor	51,4	$1,1 \times 10^{-3}$	11,3	$1,5 \times 10^{-3}$
Циперметрин Cypermethrin	0	$7,6 \times 10^{-7}$	0	$1,1 \times 10^{-6}$
ДДТ и метаболиты DDT and metabolites	1,1	$2,5 \times 10^{-5}$	2,0	$2,6 \times 10^{-4}$
2,4-Д 2,4-D	0,0	0	0,1	$1,3 \times 10^{-5}$
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene	0,1	$2,7 \times 10^{-6}$	0,4	$5,1 \times 10^{-5}$
Мышьяк (As) Arsenic (As)	3,1	$6,6 \times 10^{-5}$	6,0	$7,9 \times 10^{-4}$
Кадмий (Cd) Cadmium (Cd)	0,5	$9,8 \times 10^{-6}$	1,0	$1,4 \times 10^{-4}$
Свинец (Pb) Lead (Pb)	0,2	$3,7 \times 10^{-6}$	0,1	$1,9 \times 10^{-5}$
Суммарный ICR Total ICR	100	$2,2 \times 10^{-3}$	100	$1,3 \times 10^{-2}$

ДДТ (2,0%), Cd (1,0%), бенз(а)пирена (0,4%) (см. табл. 4). Структуру суммарного канцерогенного риска при данном варианте экспозиции формируют следующие группы продуктов: молоко и молочные продукты — 27,0% ($3,3 \times 10^{-3}$); хлеб и хлебобулочные изделия — 17,3% ($2,1 \times 10^{-3}$); картофель — 14,4% ($1,7 \times 10^{-3}$); овощи и бахчевые — 11,5% ($1,4 \times 10^{-3}$); мясо и мясопродукты — 10,9% ($1,3 \times 10^{-3}$); фрукты и ягоды — 8,3% ($1,0 \times 10^{-3}$); сахар и кондитерские изделия — 6,1% ($7,35 \times 10^{-4}$); рыба и рыбопродукты — 1,8% ($2,1 \times 10^{-4}$); растительные масла — 1,5% ($1,8 \times 10^{-4}$); яйца — 1,2% ($1,6 \times 10^{-4}$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Представленная в различных публикациях оценка возможного канцерогенного риска, обусловленного потреблением ПП, содержащих остаточные количества ТМ и пестицидов, населением в различных регионах, свидетельствуют о неприемлемом уровне загрязнения при экспозиции на уровне как медианы, так и 90-го перцентиля [16–18]. С поступлением пестицидов в дозах, превышающих референсные значения, связывают повышенный риск развития различных неврологических, эндокринных нарушений, гепатотоксических эффектов [19, 20]. Присутствие ТМ представляет собой глобальную проблему для здоровья человека, так как многие из них токсичны даже при низких концентрациях. Содержание в ПП кадмия, свинца и мышьяка часто превышает установленные нормативные величины, что отражается на безопасности ПП и может представлять риск для здоровья человека [21]. Исследования показывают, что отсутствие превышений гигиенических нормативов по содержанию ТМ, обладающих канцерогенными свойствами, в аккумулирующих средах (почве и ПП) не исключает негативного влияния на здоровье в виде отдалённых последствий (в частности, развития злокачественных новообразований у населения) [22–25].

В настоящий момент невозможно оценить риск здоровью населения от загрязнения ПП с учётом региональных факторов экспозиции на уровне или ниже регламентируемых значений. Население каждого региона отличается половой, возрастной структурой, уровнем образования, образом жизни, физической активностью и национальной культурой питания, что имеет значение при расчёте показателей оценки риска. Большинство исследователей проводят анализ риска здоровью, основываясь на ведомственных статистических данных, где рассчитывается в основном только среднедушевое потребление ПП. Авторы даже не всегда указывают источник полученных сведений о потреблении ПП, а оценку проводят на уровне средних концентраций [2, 16, 17].

Зарубежные учёные в своих работах по оценке риска и ущерба здоровью в результате воздействия химических веществ в малых концентрациях поднимают вопросы о необходимости учёта параметров, влияющих на экспозицию

вредных веществ, таких как возраст, стиль жизни, пищевое поведение, вредные привычки и т.п. [4, 6, 19, 20].

Для оценки уровня опасности загрязнения ПП предпочтительнее проводить расчёты с учётом фактического потребления ПП на уровне региона (варианты V и VI в нашей работе). Неопределённость оценки риска связана с установлением степени доказанности канцерогенного эффекта у человека, использованием в расчётах результатов мониторинга качества ПС и ПП, значений стандартных факторов экспозиции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время оценка риска здоровью и разработка на её основе профилактических мероприятий — перспективные направления изучения здоровья, особенно на уровне регионов нашей страны. Согласно полученным данным, суммарный канцерогенный риск от воздействия основных химических веществ, загрязняющих продукты питания, колеблется от настораживающего ($7,9 \times 10^{-4}$) для варианта расчёта I до высокого (от $2,2 \times 10^{-3}$ до $1,9 \times 10^{-2}$) для вариантов II–VI. Оценка уровней суммарного канцерогенного риска, рассчитанного по фактическому потреблению продуктов питания и при обследовании бюджетов домашних хозяйств жителей Республики Татарстан, свидетельствует о высокой вероятности развития канцерогенных эффектов у населения за счёт потребления продуктов питания. Суммарный канцерогенный риск формируется преимущественно в результате загрязнения пестицидами (гептахлор, α -линдан, β -линдан, линдан) и мышьяком, поступающими в основном с овощами, хлебом и хлебобулочными изделиями, молоком и молочными продуктами.

Комплексная оценка контаминации продуктов питания и показателей фактического питания на уровне региона должна послужить основой для научного обоснования мероприятий по сохранению и укреплению здоровья населения с целью минимизации воздействия загрязняющих веществ. В дальнейшем планируются исследования по оценке региональных факторов экспозиции для наиболее уязвимых групп населения (дети, подростки, беременные и пожилые) с учётом возрастных и гендерных особенностей, образа жизни, физической активности и национальной культуры питания.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: О.А. Фролова — концепция и дизайн исследования, участие в обсуждении полученных результатов; Е.П. Бочаров — сбор, статистическая обработка первичных данных, подготовка первого варианта статьи; Е.А. Тафеева — обобщение

материала, анализ и обсуждение результатов, редакция текста статьи.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. O.A. Frolova — the concept and design of the study, participation in the discussion of the results obtained;

Ye.P. Bocharov — collection, statistical processing of primary data, preparation of the first version of the article; E.A. Tafeeva — summarizing the material, analyzing and discussing the results, editing the text. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding sources. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wu F., Rodricks J.V. Forty years of food safety risk assessment: a history and analysis // *Risk Anal.* 2020. Vol. 40, N S1. P. 2218–2230. doi: 10.1111/risa.13624
2. Горбачев Д.О., Сазонова О.В., Бородина Л.М., Гаврюшин М.Ю. Анализ риска здоровью трудоспособного населения, обусловленного контаминацией пищевых продуктов (опыт Самарской области) // *Анализ риска здоровью.* 2019. № 3. С. 42–49. doi: 10.21668/health.risk/2019.3.05
3. Ананьев В.Ю., Зароченцев М.В., Моргачев О.В., Мустафина И.З. Опыт внедрения современных методов анализа пищевой продукции в рамках обеспечения государственного санитарно-эпидемиологического надзора // *Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО.* 2022. Т. 30, № 10. С. 81–91. doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-81-91
4. Moon K.A., Oberoi S., Barchowsky A., et al. A dose-response meta-analysis of chronic arsenic exposure and incident cardiovascular disease // *Int J Epidemiol.* 2017. Vol. 46, N 6. P. 1924–1939. doi: 10.1093/ije/dyx202
5. Carrington C., Devleeschauwer B., Gibb H.J., Bolger P.M. Global burden of intellectual disability resulting from dietary exposure to lead, 2015 // *Environ Res.* 2019. Vol. 172. P. 420–429. doi: 10.1016/j.envres.2019.02.023
6. Chen C., Mitchell N.J., Gratz J., et al. Exposure to aflatoxin and fumonisin in children at risk for growth impairment in rural Tanzania // *Environ Int.* 2018. Vol. 115. P. 29–37. doi: 10.1016/j.envint.2018.03.001
7. Chen C., Saha Turna N., Wu F. Risk assessment of dietary deoxynivalenol exposure in wheat products worldwide: are new codex DON guidelines adequately protective? // *Trends in Food Science & Technology.* 2019. Vol. 89. P. 11–25. doi: 10.1016/j.tifs.2019.05.002
8. Zang Y., Devleeschauwer B., Bolger P.M., et al. Global burden of late-stage chronic kidney disease resulting from dietary exposure to cadmium, 2015 // *Environ Res.* 2019. Vol. 169. P. 72–78. doi: 10.1016/j.envres.2018.10.005
9. Fu Z., Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism // *Toxicol Mech Methods.* 2020. Vol. 30, N 3. P. 167–176. doi: 10.1080/15376516.2019.1701594
10. Renu K., Chakraborty R., Myakala H., et al. Molecular mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium) — induced hepatotoxicity — a review // *Chemosphere.* 2021. Vol. 271. P. 129735. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129735
11. Paithankar J.G., Saini S., Dwivedi S., et al. Heavy metal associated health hazards: an interplay of oxidative stress and signal transduction // *Chemosphere.* 2021. Vol. 262. P. 128350. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128350
12. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения // *Анализ риска здоровью.* 2022. № 3. С. 4–20. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01
13. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Еремин Г.Б., и др. Правовой анализ использования оценки риска здоровью в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения // *Гигиена и санитария.* 2020. Т. 99, № 6. С. 624–630. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-6-624-630
14. European Food Safety Authority. Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population // *EFSA Journal.* 2014. Vol. 12, N 3. P. 3597–3668. doi: 10.2903/j.efsa.2014.3597
15. Мартинчик А.Н., Батурич А.К., Зохири Н. Фактическое потребление энергии и основных пищевых веществ детьми и подростками России в середине 90-х годов // *Профилактика заболеваний и укрепление здоровья.* 1998. № 3. С. 16–21.
16. Елисеев Ю.Ю., Спирин В.Ф., Чехомов С.Ю., Елисеева Ю.В. Потенциальный риск для здоровья сельского населения, связанный с потреблением местных продуктов питания, содержащих остаточные количества пестицидов // *Гигиена и санитария.* 2021. Т. 100, № 5. С. 482–488. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-482-488
17. Ковшов А.А., Чашин В.П. Оценка риска здоровью коренных жителей Чукотского автономного округа в условиях воздействия стойких загрязняющих веществ // *Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО.* 2019. № 12. С. 4–10. doi: 10.35627/2219-5238/2019-321-12-4-10
18. Боев В.М., Кряжева Е.А., Бегун Д.Н., и др. Гигиеническая оценка риска здоровью населения при комбинированном пероральном поступлении тяжелых металлов // *Анализ риска здоровью.* 2019. № 2. С. 35–43. doi: 10.21668/health.risk/2019.2.04
19. Thompson L.A., Darwish W.S., Ikenaka Y., et al. Organochlorine pesticide contamination of foods in Africa: incidence and public health significance // *J Vet Med Sci.* 2017. Vol. 79, N 4. P. 751–764. doi: 10.1292/jvms.16-0214

20. Sieke C. Probabilistic cumulative dietary risk assessment of pesticide residues in foods for the German population based on food monitoring data from 2009 to 2014 // *Food Chem Toxicol*. 2018. Vol. 121. P. 396–403. doi: 10.1016/j.fct.2018.09.010
21. Collado-López S., Betanzos-Robledo L., Téllez-Rojo M.M., et al. Heavy metals in unprocessed or minimally processed foods consumed by humans worldwide: a scoping review // *Int J Environ Res Public Health*. 2022. Vol. 19, N 14. P. 8651. doi: 10.3390/ijerph19148651
22. Боев В.М., Зеленина Л.В., Кудусова Л.Х., и др. Гигиеническая оценка канцерогенного риска здоровью населения, ассоциированного с загрязнением деponирующих сред тяжелыми металлами // *Анализ риска здоровью*. 2022. № 1. С. 17–26. doi: 10.21668/health.risk/2022.1.02
23. Май И.В., Лебедева-Несевря Н.А., Барг А.О. Стратегия и тактика построения эффективных риск-коммуникаций в сфере безопасности пищевой продукции // *Анализ риска здоровью*. 2018. № 4. С. 105–113. doi: 10.21668/health.risk/2018.4.12
24. Лыжина А.В., Унгурияну Т.Н., Родиманов А.В. Риск здоровью населения при воздействии тяжелых металлов, загрязняющих продовольственное сырье и пищевые продукты // *Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО*. 2018. № 7. С. 4–7. doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-4-7
25. Фролова О.А., Бочаров Е.П., Ахтямова Л.А. Оценка риска от воздействия химических контаминантов в пищевых продуктах // *Гигиена и санитария*. 2016. Т. 95, № 8. С. 743–748. doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-743-748

REFERENCES

1. Wu F, Rodricks JV. Forty years of food safety risk assessment: a history and analysis. *Risk Anal*. 2020;40(S1):2218–2230. doi: 10.1111/risa.13624
2. Gorbachev DO, Sazonova OV, Borodina LM, Gavryushin MY. Analyzing health risks for employable population caused by food products contamination (experience gained in Samara region). *Health Risk Analysis*. 2019;(3):42–49. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2019.3.05.eng
3. Ananyev VYu, Zarochentsev MV, Morgachev OV, Mustafina IZ. Experience of introducing advanced methods of food safety and quality testing as part of ensuring state sanitary and epidemiological surveillance. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2022;30(10):81–91. (In Russ). doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-81-91
4. Moon KA, Oberoi S, Barchowsky A, et al. A dose-response meta-analysis of chronic arsenic exposure and incident cardiovascular disease. *Int J Epidemiol*. 2017;46(6):1924–1939. doi: 10.1093/ije/dyx202
5. Carrington C, Devleeschauwer B, Gibb HJ, Bolger PM. Global burden of intellectual disability resulting from dietary exposure to lead, 2015. *Environ Res*. 2019;172:420–429. doi: 10.1016/j.envres.2019.02.023
6. Chen C, Mitchell NJ, Gratz J, et al. Exposure to aflatoxin and fumonisin in children at risk for growth impairment in rural Tanzania. *Environ Int*. 2018;115:29–37. doi: 10.1016/j.envint.2018.03.001
7. Chen C, Saha Turna N, Wu F. Risk assessment of dietary deoxynivalenol exposure in wheat products worldwide: are new codex DON guidelines adequately protective? *Trends in Food Science and Technology*. 2019;89:11–25. doi: 10.1016/j.tifs.2019.05.002
8. Zang Y, Devleeschauwer B, Bolger PM, et al. Global burden of late-stage chronic kidney disease resulting from dietary exposure to cadmium, 2015. *Environ Res*. 2019;169:72–78. doi: 10.1016/j.envres.2018.10.005
9. Fu Z, Xi S. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicol Mech Methods*. 2020;30(3):167–176. doi: 10.1080/15376516.2019.1701594
10. Renu K, Chakraborty R, Myakala H, et al. Molecular mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium) — induced hepatotoxicity — a review. *Chemosphere*. 2021;271:129735. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129735
11. Paithankar JG, Saini S, Dwivedi S, et al. Heavy metal associated health hazards: an interplay of oxidative stress and signal transduction. *Chemosphere*. 2021;262:128350. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128350
12. Zaitseva NV, Onishchenko GG, May IV, Shur PZ. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*. 2022;(3):4–20. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01.eng
13. Karelin AO, Lomtev AYU, Yeremin GB, et al. Legal analysis of the use of health risk assessment in the field of sanitary and epidemiological well-being of the population. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2020;99(6):624–630. (In Russ). doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-6-624-630
14. European Food Safety Authority. Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. *EFSA Journal*. 2014;12(3):3597–3668. doi: 10.2903/j.efsa.2014.3597
15. Martinchik AN, Baturin AK, Zohuri N. Fakticheskoe potreblenie jenergii i osnovnyh pishhevyh veshhestv det'mi i podrostkami Rossii v seredine 90-h godov. *Profilaktika zabolevanij i ukreplenie zdorov'ja*. 1998;(3):16–21. (In Russ).
16. Eliseev YuYu, Spirin VF, Chechomov SYU, Eliseeva YuV. Potential health risk associated with consumption of local food containing pesticide residues for the rural population. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2021;100(5):482–488. (In Russ). doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-482-488
17. Kovshov AA, Chashchin VP. Health risk assessment for indigenous people of Chukotka Autonomous Okrug exposed to persistent pollutants. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2019;(12):4–10. (In Russ). doi: 10.35627/2219-5238/2019-321-12-4-10
18. Boev VM, Kryazheva EA, Begun DN, et al. Hygienic assessment of population health risks caused by combined oral introduction of heavy metals. *Health Risk Analysis*. 2019;(2):35–43. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2019.2.04
19. Thompson LA, Darwish WS, Ikenaka Y, et al. Organochlorine pesticide contamination of foods in Africa: incidence and public health significance. *J Vet Med Sci*. 2017;79(4):751–764. doi: 10.1292/jvms.16-0214
20. Sieke C. Probabilistic cumulative dietary risk assessment of pesticide residues in foods for the German population based on

- food monitoring data from 2009 to 2014. *Food Chem Toxicol.* 2018;121:396–403. doi: 10.1016/j.fct.2018.09.010
21. Collado-López S, Betanzos-Robledo L, Téllez-Rojo MM, et al. Heavy metals in unprocessed or minimally processed foods consumed by humans worldwide: a scoping review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(14):8651. doi: 10.3390/ijerph19148651
22. Boev VM, Zelenina LV, Kudusova LH, et al. Hygienic assessment of carcinogenic health risks associated with contamination of depositing media with heavy metals. *Health Risk Analysis.* 2022;(1):17–26. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2022.1.02
23. May IV, Lebedeva-Nesevrya NA, Barg AO. Strategy and tactics for building up efficient risk-communications in the sphere of food products safety. *Health Risk Analysis.* 2018;(4):105–113. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2018.4.12
24. Lyzhina AV, Ungurjanu TN, Rodimanov AV. Health risk assessment associated with contamination by heavy metals of food products. *Public Health and Life Environment — PH&LE.* 2018;(7):4–7. (In Russ). doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-4-7
25. Frolova OA, Bocharov EP, Ahtjamova LA. Risk assessment from exposure to chemical contaminants in food. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal.* 2016;95(8):743–748. (In Russ). doi: 10.18821/0016-9900-2016-95-8-743-748

ОБ АВТОРАХ

* **Фролова Оксана Александровна**, д.м.н., доцент, профессор;

адрес: Российская Федерация, 420012, Казань, ул. Бутлерова, д. 36;

ORCID: 0000-0002-6675-0563;

eLibrary SPIN: 1920-0311;

e-mail: frolova_oa@mail.ru

Бочаров Евгений Павлович, к.м.н.;

ORCID: 0000-0003-0672-5603;

eLibrary SPIN: 5136-5976;

e-mail: e-bocharov@yandex.ru

Тafeeva Елена Анатольевна, д.м.н., доцент, профессор;

ORCID: 0000-0002-4161-2463;

eLibrary SPIN: 2265-1810;

e-mail: tafeeva@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Oksana A. Frolova**, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor, professor;

address: 36 Butlerova street, 420012 Kazan', Russian Federation;

ORCID: 0000-0002-6675-0563;

eLibrary SPIN: 1920-0311;

e-mail: frolova_oa@mail.ru

Yevgeniy P. Bocharov, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0003-0672-5603;

eLibrary SPIN: 5136-5976;

e-mail: e-bocharov@yandex.ru

Elena A. Tafeeva, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor, professor;

ORCID: 0000-0002-4161-2463;

eLibrary SPIN: 2265-1810;

e-mail: tafeeva@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author