

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 30, Issue 3, 2023

3
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 переулок, 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 ВИНТИ

– 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. Устинова

Перевод: А.А. Богачев

Сдано в набор 22.06.2023.

Подписано в печать 27.06.2023.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ 3-5973-IV. Цена свободная.

Печ. л. 9,5. Уч.-изд. л. 8,8. Усл. печ. л. 5,2.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс Б2В»

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, № 3.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 30 • № 3 • 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, Russia

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: <https://eco-vector.com>

EDITORIAL OFFICE:

Address: 51 Troitsky Ave., Arkhangelsk 163000,
Russia

E-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 3 • 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. Gorbatoeva (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. Chereshevnev (Moscow), Z. Shi (Qatar), C. Yu (China), K. Young (Canada)

СОДЕРЖАНИЕ

Оригинальные исследования

К.В. Шелыгин, Т.Н. Ушакова, Н.В. Зыкова, Л.И. Ложкина, В.А. Микитюк

Результативность управления системой здравоохранения (на примере Архангельской области) 169

А.М. Кошельков, Л.П. Майорова

Оценка загрязнения почв города Хабаровска бенз(а)пиреном 181

Е.Н. Пильник, Л.Е. Дерягина, В.Л. Рейнюк, А.О. Пятибрат

Роль антропогенных дерматотоксикантов в формировании угревой болезни у подростков 199

А.А. Анциферова, А.В. Концевая, О.М. Драпкина

Результаты пилотного исследования оценки уровня презентеизма при помощи

Стэнфордской шкалы презентеизма среди работающего населения в Российской Федерации 213

В.А. Семилетова, Е.В. Дорохов, Я.В. Булгакова

Влияние кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов

электроэнцефалограммы здорового человека 223

А.В. Грибанов, Т.П. Ширяева, И.Л. Фатеева, Д.М. Федотов, О.С. Преминина, Т.В. Аношина

Функциональная активность головного мозга у пожилых женщин Арктической зоны

Российской Федерации с различным вегетативным тонусом. 231

CONTENTS

Original Study Articles

K.V. Shelygin, T.N. Ushakova, N.V. Zyкова, L.I. Lozhkina, V.A. Mikityuk

Performance of management of the health system (on the example of the Arkhangelsk region)..... 169

A.M. Koshelkov, L.P. Mayorova

Assessment of benzo(a)pyrene soil contamination in Khabarovsk 181

E.N. Pilnik, L.E. Deryagina, V.L. Reinyuk, A.O. Pyatibrat

The role of anthropogenic dermatotoxicants in the etiology of acne in adolescents 199

A.A. Antsiferova, A.V. Kontsevaya, O.M. Drapkina

Results of a pilot study of presenteeism using the Stanford Presenteeism Scale
among the working population in the Russian Federation. 213

V.A. Semiletova, E.V. Dorohov, Ya.V. Bulgakova

Effects of short-term speleotherapy exposure on the bioelectric activity of a healthy brain 223

A.V. Gribanov, T.P. Shiryayeva, I.L. Fateeva, D.M. Fedotov, O.S. Premnina, T.V. Anoshina

Functional activity of the brain among elderly women with different autonomic tones
in the Arctic zone of the Russian Federation 231

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco121859>

Результативность управления системой здравоохранения (на примере Архангельской области)

К.В. Шелыгин, Т.Н. Ушакова, Н.В. Зыкова, Л.И. Ложкина, В.А. Микитюк

Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время здравоохранение занимает исключительное место в социально ориентированной экономике. Для оценки эффективного функционирования системы здравоохранения необходимо осуществлять постоянный мониторинг оценочных индикаторов результативности, которые позволяют определить уровень общественного, группового и индивидуального здоровья населения.

Цель. Установить степень результативности управления системой здравоохранения на основе сравнительного анализа определённых целевых показателей индикаторов с их фактическими значениями.

Материалы и методы. Проведён анализ показателей, содержащихся в Государственной программе Архангельской области «Развитие здравоохранения Архангельской области». В качестве целевых (плановых) были выбраны следующие: ожидаемая продолжительность жизни при рождении; материнская смертность на 100 000 родившихся живыми; младенческая смертность на 1000 родившихся живыми; суммарный коэффициент рождаемости; обеспеченность врачами на 10 000 населения; количество среднего медицинского персонала, приходящегося на одного врача. Период анализа — 2010–2020 гг. Исследование ретроспективное, описательное, нерандомизированное. Уровень результативности вычисляли по отношению целевых и фактических показателей с последующей их интеграцией. Анализ динамических рядов на наличие аномальных значений (выбросов) осуществляли методом Ирвина.

Результаты. Основными показателями, обеспечивающими уровень результативности, являются материнская смертность и обеспеченность врачами. Обеспеченность врачами на 10 000 населения была значительно выше целевых показателей на всём временном промежутке — в среднем на 32,8%. Целевые показатели материнской смертности были ниже, чем фактические, в среднем на 50,1%, что, по-видимому, связано с завышением целевого показателя.

Заключение. Целевые показатели результативности системы здравоохранения имеют тенденцию к завышению на фоне отсутствия внятно прописанного методологического аппарата расчёта, что в большинстве случаев приводит к несовпадению их динамики и динамики фактических показателей, к увеличению расчётного уровня результативности управления системой здравоохранения.

Ключевые слова: общественное здоровье; система здравоохранения; Архангельская область; результативность управления; целевые показатели; индикаторы.

Как цитировать:

Шелыгин К.В., Ушакова Т.Н., Зыкова Н.В., Ложкина Л.И., Микитюк В.А. Результативность управления системой здравоохранения (на примере Архангельской области) // Экология человека. 2023. Т. 30, № 3. С. 169–180. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco121859>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco121859>

Performance of management of the health system (on the example of the Arkhangelsk region)

Kirill V. Shelygin, Tatyana N. Ushakova, Natalia V. Zyкова,
Lada I. Lozhkina, Valentina A. Mikityuk

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently, health care occupies an exceptional place in a socially oriented economy. To assess the effective functioning of the health care system, it is necessary to constantly monitor performance indicators that allow you to determine the level of saving the health of the population.

AIM: Determine the degree of effectiveness of health system management based on a comparative analysis of certain target indicators with their actual values.

MATERIALS AND METHODS: An analysis of the indicators contained in the State program of the Arkhangelsk region "Health care development in the Arkhangelsk region" was carried out. The following parameters were chosen as targets: life expectancy at birth; maternal mortality per 100 000 live births; infant mortality per 1000 live births; total fertility rate; number of doctors per 10 000 population; number of average medical personnel per one doctor. Analysis period — 2010–2020. The study is retrospective, descriptive, not randomized. The level of performance was calculated from the ratio of target and actual indicators and their subsequent integration. The analysis of dynamic series for the presence of anomalous values (outliers) was carried out by the Irwin method.

RESULTS: The main indicators that ensure the level of performance are maternal mortality and availability of doctors. The availability of doctors per 10,000 population was significantly higher than the target indicators over the entire time period by an average of 32.8%. The target indicators of maternal mortality were lower than the actual ones on average by 50.1%, which seems to be due to overestimation of the target indicator.

CONCLUSION: Target indicators of health care system performance tend to overestimate against the background of the lack of a clearly defined methodological apparatus for their calculation, which, in most cases, leads to a mismatch between their dynamics and the dynamics of actual indicators, increasing the calculated level of health care system management performance.

Keywords: public health; health care system; Arkhangelsk Region; management performance; targets; indicators.

To cite this article:

Shelygin KV, Ushakova TN, Zyкова NV, Lozhkina LI, Mikityuk VA. Performance of management of the health system (on the example of the Arkhangelsk region). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(3):169–180. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco121859>

Received: 16.01.2023

Accepted: 09.03.2023

Published online: 23.03.2023

ОБОСНОВАНИЕ

В рамках системного и субъектного подходов здравоохранение можно рассматривать как систему связанных элементов, имеющих общую цель. Субъектность здравоохранения предусматривает его способность в известной мере самостоятельно, проактивно достигать этой цели. Фундаментальными целями функционирования системы здравоохранения являются обеспечение должного уровня популяционного здоровья, защита населения в области охраны здоровья как на индивидуальном, так и на популяционном уровне, обеспечение доступности медицинской помощи, её качества, профилактика заболеваемости. В конечном итоге деятельность системы здравоохранения способствует усилению демографической безопасности как на общегосударственном, так и на региональном уровне, что особенно актуально в современной ситуации. Все эти цели тесно переплетены с социально-экономическими возможностями государства, декларируемыми и фактическими вариантами деятельности как на государственном, так и на отраслевом уровнях [1].

Для достижения цели обеспечения должного уровня популяционного здоровья наряду с другими выполняется задача наиболее эффективного функционирования системы здравоохранения через оптимальный уровень её управленческой результативности (resultativeness) — «степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов» [2]), что в свою очередь обуславливает необходимость введения оценочных индикаторов результативности. В качестве таковых могут выступать общепризнанные показатели общественного здоровья: ожидаемая продолжительность жизни (ОПЖ), суммарный коэффициент рождаемости, младенческая и материнская смертность, уровень инвалидизации и т.п. В тоже время для оценки уровня, качества, доступности оказываемой медицинской помощи могут использоваться показатели, отражающие ресурсный потенциал самой системы здравоохранения: численность медицинских кадров, коечного фонда и другие, т.е. тот «инструментарий», который должен обеспечивать цели и задачи здравоохранения [3]. Помимо результативности, отражающей достижение запланированного результата декларируемой цели сохранения и улучшения здоровья населения, результативность может рассматриваться с экономической и социальной точек зрения, тогда её индикаторами выступают показатели экономической деятельности и результаты социологических исследований [4, 5].

Таким образом, оценка результативности системы здравоохранения — актуальная задача, направленная на достижение главной цели улучшения общественного, группового и индивидуального здоровья населения.

Цель. Установить степень результативности управления системой здравоохранения по формализованным признакам.

Поставленная цель реализуется через следующие задачи:

- дать статико-динамические характеристики запланированным и фактическим показателям результативности;
- выявить степень управленческой результативности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Период анализа — 2010–2020 гг. Исследование ретроспективное, описательное, не рандомизированное.

Регион — Архангельская область без учёта Ненецкого автономного округа (НАО), Архангельская область, включая НАО. Выбор территорий обусловлен тем, что для анализируемого периода статистические данные разрабатываются по отдельности как для всей области, так и для автономии в её составе.

Источники данных:

- Российская база данных по рождаемости и смертности (Центр демографических исследований Российской экономической школы (Москва, Россия)) [6]; Сборники «Ресурсы и деятельность медицинских организаций здравоохранения» (Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения Министерства здравоохранения Российской Федерации) за 2010–2020 гг.;
- База данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [7];
- Постановление Правительства Архангельской области от 12 октября 2012 года № 462-пп «Об утверждении государственной программы Архангельской области «Развитие здравоохранения Архангельской области» [8].

При подготовке данных учитывали следующие моменты. Во-первых, поскольку программа «Развитие здравоохранения Архангельской области» вводит целевые показатели с 2011 года, их значения взяты и для 2010 года. Во-вторых, так как для 2013–2015 гг. в государственной программе не введены целевые показатели суммарного коэффициента рождаемости, их отсутствие восполнено следующим образом:

- вычислен коэффициент прироста $M_{\text{как}} (\ln I_{2016} - \ln I_{2012})/n$, где I — целевой показатель суммарного коэффициента рождаемости для 2016 и 2012 годов соответственно, n — число наблюдений (в нашем случае 3), далее исчислен показатель для каждого пропущенного года $I_{2012+2,718/(M \cdot i)}$, где i — порядковый номер года, для которого вычисляется показатель: например, 2013 — 1, 2014 — 2 и т.д.;
- произведён расчёт частных и интегральных показателей результативности управления.

При условии необходимости роста показателя, согласно программе «Развитие здравоохранения Архангельской области», применяли формулу:

$$Y = \frac{X_{\text{цель}}}{X_{\text{факт}}}, \quad (1)$$

где Y — расчётный показатель результативности; $X_{\text{цель}}$ — значение целевого показателя; $X_{\text{факт}}$ — значение фактического показателя.

При условии необходимости снижения показателя, согласно программе «Развитие здравоохранения Архангельской области», применяли формулу:

$$Y = \frac{X_{\text{факт}}}{X_{\text{цель}}}. \quad (2)$$

Интегральный показатель рассчитывали как простую среднюю геометрическую сумму частных показателей.

Анализ динамических рядов на наличие аномальных значений (выбросов) осуществляли методом Ирвина [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статико-динамические характеристики изучаемых показателей

Для анализа были отобраны следующие показатели, содержащиеся в Государственной программе Архангельской области «Развитие здравоохранения Архангельской области» в качестве целевых (плановых) и являющиеся общепризнанными индикаторами популяционного здоровья и ресурсного состояния системы здравоохранения [10–14]:

- ОПЖ при рождении;
- материнская смертность на 100 000 родившихся живыми;

- младенческая смертность на 1000 родившихся живыми;
- суммарный коэффициент рождаемости;
- обеспеченность врачами на 10 000 населения;
- количество среднего медицинского персонала, приходящегося на одного врача.

В период с 2010 по 2020 год планировалось повышение ОПЖ с 68,2 до 73,2 года, при этом подразумевалось, что показатель будет иметь наибольший рост в период 2012–2018 гг., после чего выйдет на более горизонтальную тенденцию (рис. 1). Фактические показатели ОПЖ продемонстрировали схожую по направленности тенденцию — рост с 2010 по 2019 год. При этом до 2016 года фактические показатели были выше, чем целевые. Затем ситуация изменилась и реальные показатели ОПЖ стали меньше, чем запланированные. Фактические показатели в Архангельской области в целом и в области без учёта НАО не отличались ни в динамическом, ни в количественном плане (среднее для области в целом — 70,5 ст. откл. 1,40, для области без НАО — 70,6 ст. откл. 1,37). Следует отметить, что в период 2011–2013 гг. рост фактических показателей был больше, чем запланированное их увеличение. В 2020 году отмечалось резкое снижение реального показателя ОПЖ.

Согласно Государственной программе, предполагалось снижение показателя материнской смертности вплоть до 2017 года, после чего прогнозировалась боковая тенденция (рис. 2). Прогнозное снижение в период 2011–2016 гг. составило 52,4%. В реальности показатель материнской смертности был, за исключением 2011 и 2016 года, ниже запланированного. За год в 2012 году

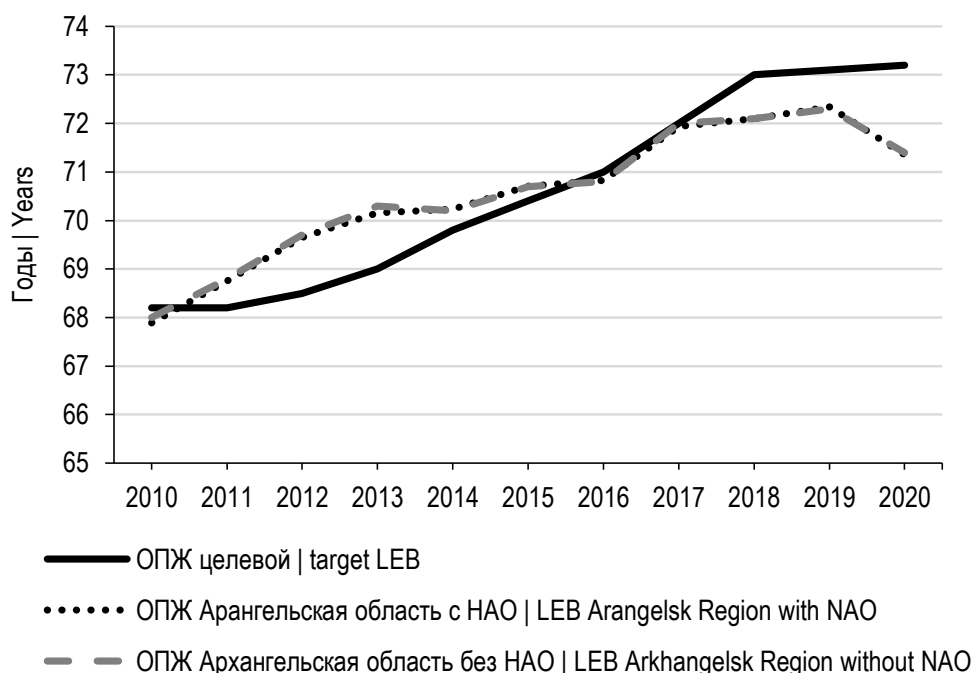


Рис. 1. Динамика целевых и фактических показателей ожидаемой продолжительности жизни при рождении (ОПЖ), лет, в 2010–2020 гг. НАО — Ненецкий автономный округ.

Fig. 1. Dynamics of the target and actual indicators of life expectancy at birth (LEB), years, 2010–2020. NAO — Nenets Autonomous Okrug.

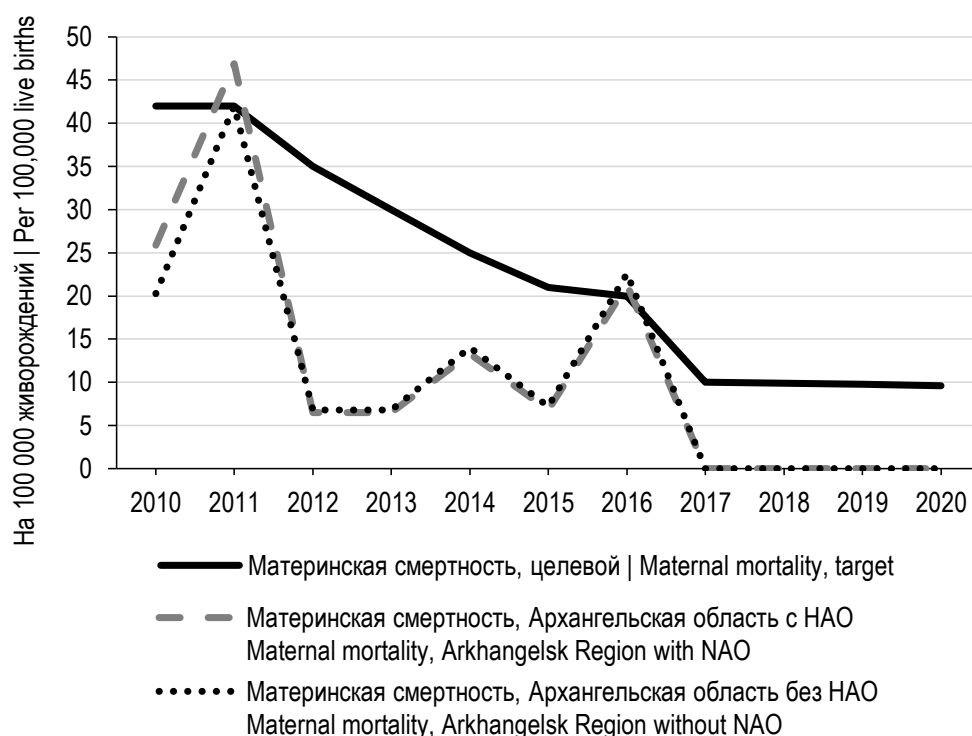


Рис. 2. Динамика целевых и фактических показателей материнской смертности на 100 000 рождённых живыми, 2010–2020 гг. НАО — Ненецкий автономный округ.

Fig. 2. Dynamics of target and actual indicators of maternal mortality per 100,000 live births, 2010–2020. NAO — Nenets Autonomous Okrug.

показатель снизился как в целом по региону (на 86,1%), так и в области без учёта НАО (на 83,8%), после чего перешёл в боковой тренд и с 2017 года стал равен нулю. Таким образом, в динамике фактических показателей материнской смертности можно выделить два периода снижения — в 2012 и в 2017 году.

За рассматриваемый период планировалось сокращение показателя младенческой смертности на 20,9%. При этом с 2010 по 2016 год прогнозировалось некоторое повышение показателя с последующим его плавным понижением (рис. 3). Фактическая динамика показателей младенческой смертности имела также нисходящий тренд, при этом снижение показателей отмечалось значительно раньше запланированных — уже с 2014 года, что привело к меньшим, чем целевые, значениям.

Вплоть до 2016 года фактический показатель суммарного коэффициента рождаемости в целом по региону был выше, чем целевые его показатели (рис. 4). Начиная с 2017 года динамика фактических показателей приобрела стойкую нисходящую тенденцию, что привело к меньшим уровням, нежели целевые. Следует заметить, что при составлении целевых показателей планировалось некоторое их понижение после 2018 года, но реальные изменения оказались более существенными.

За весь анализируемый период отмечались большие показатели обеспеченности врачами относительно целевых показателей (в среднем на 32,5%). В целом как в Архангельской области, так и области без учёта

НАО динамический рисунок обеспеченности врачами имел достаточно стабильный вид, оставаясь в горизонтальной тенденции с незначительными флуктуациями (рис. 5).

Уровень обеспеченности средним медицинским персоналом по отношению к числу врачей оставался меньшим, чем целевые показатели на всём анализируемом временном промежутке (рис. 6). При этом с 2014 года этот разрыв стал увеличиваться: с 7,4% в 2014 году до 17,9% в 2020 году. Различий в уровне между показателями, учитывающими НАО и без учёта НАО, не было.

Подводя итог изучению динамических характеристик основных показателей, демонстрирующих результативность управления системой здравоохранения, следует сделать вывод о несовпадении динамики целевых показателей рассматриваемых индикаторов с их фактическими значениями, за исключением показателей ОПЖ и младенческой смертности. Помимо этого, установлено, что лидерами по числу наблюдений (лет), в которые отмечалось превышение фактических показателей над целевыми (для младенческой и материнской смертности — меньшие, чем целевые, значения), как в целом в регионе, так и в области без учёта НАО были показатели «обеспеченность врачами на 10 000 населения» и «материнская смертность» (рис. 7). Из всех рассматриваемых показателей только для показателя «количество среднего медицинского персонала на одного врача» не отмечено ни одного наблюдения, когда бы фактическое его значение было больше целевого.

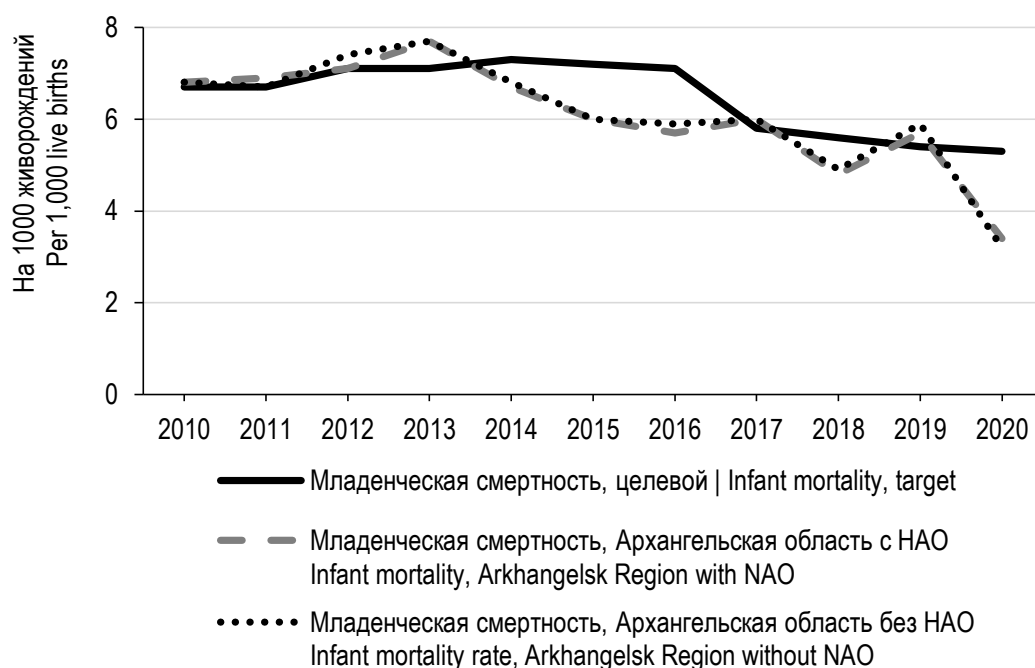


Рис. 3. Динамика фактических и целевых показателей младенческой смертности на 1000 рождённых живыми, 2010–2020 гг. НАО — Ненецкий автономный округ.

Fig. 3. Dynamics of actual and target indicators of infant mortality, per 1,000 live births, 2010–2020. NAO — Nenets Autonomous Okrug.

Оценка степени управленческой результативности

Решение второй задачи исследования предполагало установление степени результативности управления системой здравоохранения через сравнение целевых

и фактических показателей, представленных в Государственной программе Архангельской области «Развитие здравоохранения Архангельской области». Сопоставление степени достижения целевого показателя осуществляли через вычисление сначала частных показателей,

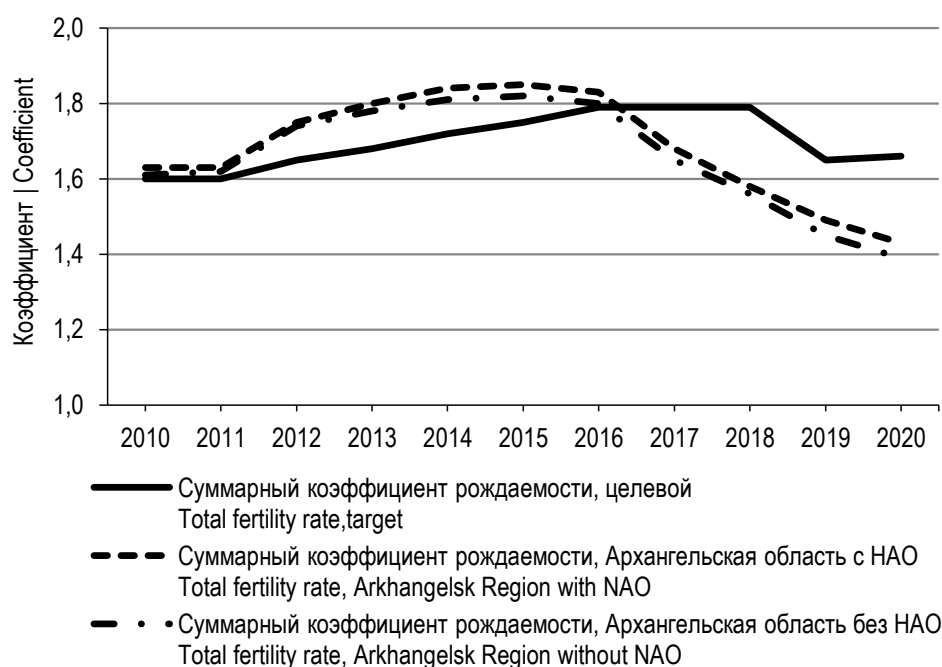


Рис. 4. Динамика фактических и целевых показателей суммарного коэффициента рождаемости, 2010–2020 гг. НАО — Ненецкий автономный округ.

Fig. 4. Dynamics of actual and target indicators of the total fertility rate, 2010–2020.

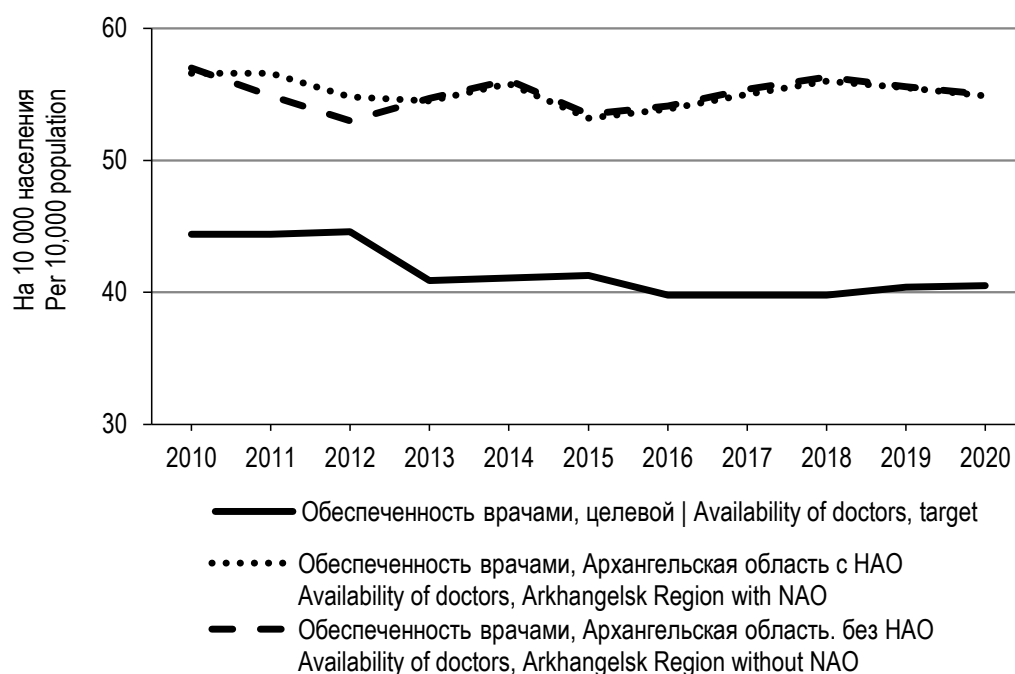


Рис. 5. Динамика целевых и фактических показателей обеспеченности врачами, на 10 000 населения, 2010–2020 гг. НАО — Ненецкий автономный округ.

Fig. 5. Dynamics of the target and actual indicators of the availability of doctors, per 10,000 population, 2010–2020. NAO — Nenets Autonomous Okrug.

а затем интегрального показателя результативности. Анализ показал принципиальную схожесть динамического рисунка интегральных показателей результативности как в целом по региону, так и по области без учёта НАО

(рис. 8). Исходя из принципа расчёта показателя результативности, она тем лучше, чем ближе интегральный показатель к 1,0. В соответствии с этим максимальный уровень результативности был достигнут в 2018 и 2020 годах.

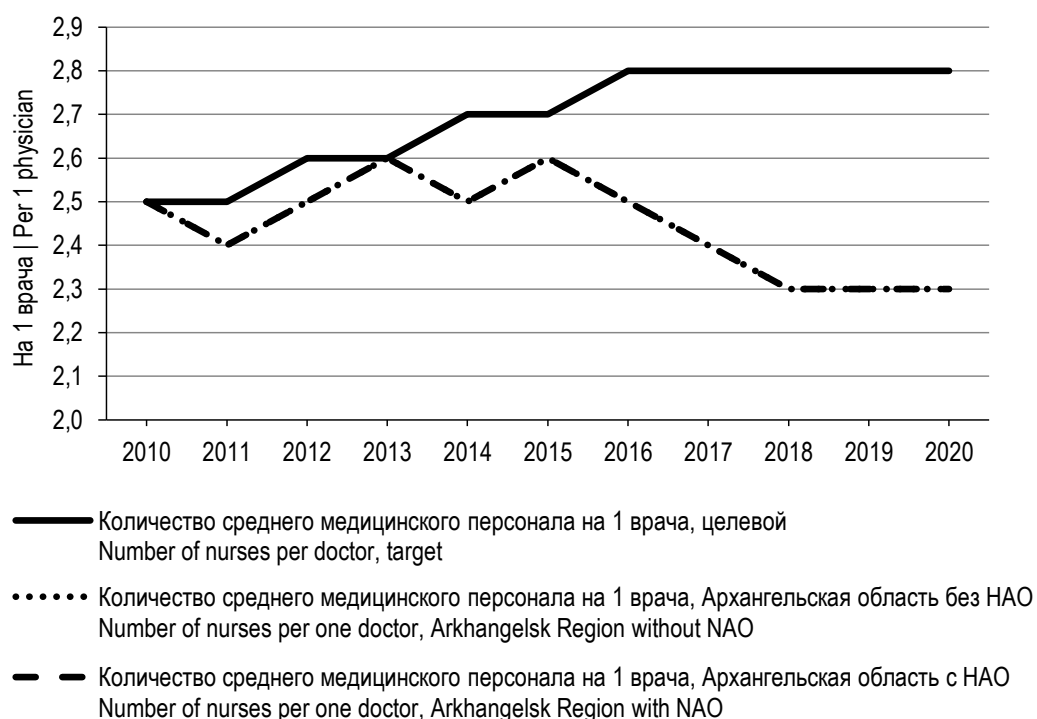


Рис. 6. Динамика показателя «количество среднего медицинского персонала на одного врача», 2010–2020 гг. НАО — Ненецкий автономный округ.

Fig. 6. Dynamics of the indicator "The number of nursing staff per one doctor", 2010–2020. NAO — Nenets Autonomous Okrug.

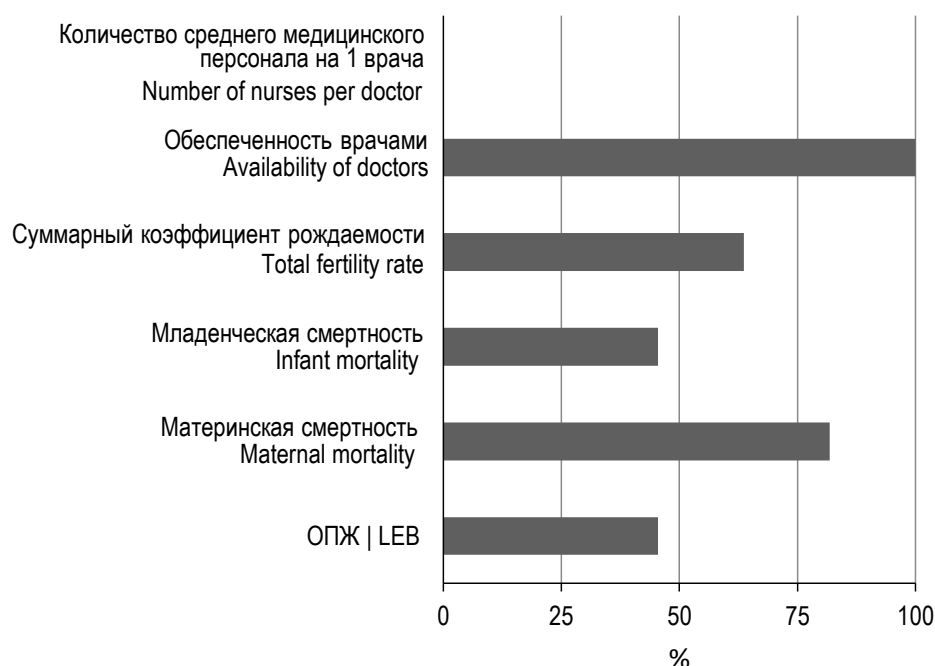


Рис. 7. Доля наблюдений фактических показателей, превышающих уровень целевых значений, 2010–2020 гг. Данные приведены совместно для Архангельской области с учётом НАО и без учёта НАО. ОПЖ — ожидаемая продолжительность жизни при рождении. НАО — Ненецкий автономный округ. Для показателя «Количество среднего медицинского персонала на одного врача» не отмечено ни одного наблюдения, когда бы фактическое его значение было больше целевого.

Fig. 7. Percentage of observations of actual indicators exceeding the level of target values, 2010–2020. The data are given jointly for the Arkhangelsk Region with and without NAO. LEB — life expectancy at birth. NAO — Nenets Autonomous Region.

Минимальный уровень результативности для области с учётом автономного округа наблюдался в 2011 году, без учёта НАО — в 2012–2013 гг. В среднем показатель результативности для области в целом (с учётом НАО) составил 0,60, для региона без учёта НАО — 0,70. Анализ

методом Ирвина показал наличие аномальных значений интегрального показателя эффективности в динамическом ряду «Архангельская область с учётом НАО» в 2011 и 2012 годах для Архангельской области без учёта НАО во все годы с 2017 по 2020 год (табл. 1).

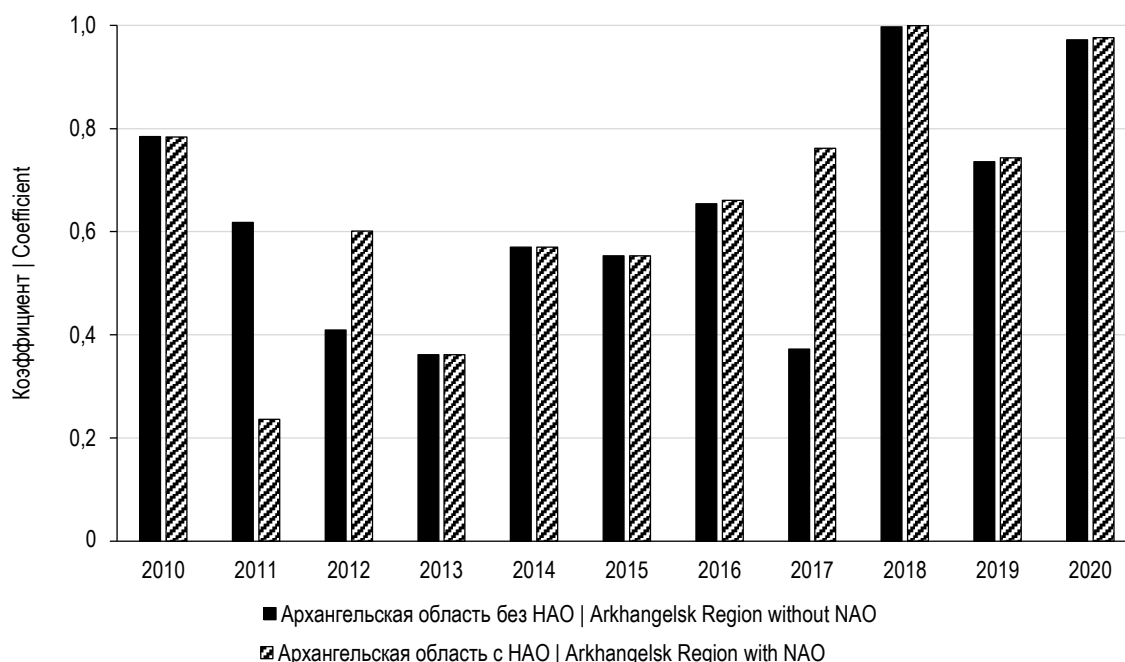


Рис. 8. Динамика коэффициентов результативности, 2010–2020 гг. НАО — Ненецкий автономный округ.

Fig. 8. Dynamics of performance coefficients, 2010–2020. NAO — Nenets Autonomous Okrug.

ОБСУЖДЕНИЕ

Предваряя обсуждение полученных нами результатов, следует отметить отсутствие в программе «Развитие здравоохранения Архангельской области» обоснований, согласно которым были рассчитаны конкретные цифры целевых показателей. В связи с этим не представляется возможным оценить методологическую составляющую генерации целевых показателей. Помимо этого, периодически данные показатели корректировались, о чём свидетельствуют вносимые неаргументированные изменения [8]. С учётом этих обстоятельств нами были проанализированы показатели, которые представлены в исходном варианте документа. Целевые показатели разбиты на подпрограммы, однако все они приводят к изменению основных показателей самой программы, поэтому мы не анализировали показатели подпрограмм. В анализ не включались экономические составляющие, так как, во-первых, получение фактических данных по ним затруднено, во-вторых, сравнение экономических показателей на столь длинном временном промежутке может быть некорректным из-за инфляционных процессов в экономике, изменения покупательной способности. Эти обстоятельства потребовали бы от нас дополнительных процедур, направленных на элиминацию факторов, которые препятствуют корректному сравнению экономических показателей. Поэтому из программы нами взяты шесть целевых показателей, которые наиболее полно отражают функции системы здравоохранения, направленные на сбережение и преумножение популяционного здоровья, с одной стороны, а с другой — сводящие к минимуму их искажение в силу малой зависимости от таких факторов, как возрастно-половой состав населения.

Как отмечалось, основными показателями, по-видимому, оказывающими наибольшее влияние на уровень интегрального показателя результативности, были обеспеченность врачами и материнская смертность (см. рис. 7). Обеспеченность врачами на 10 000 населения была значительно выше целевых показателей на всём временном промежутке в среднем на 32,8%, что, по-видимому, обеспечивалось функционированием медицинского университета, расположенного в г. Архангельске. Целевые показатели материнской смертности были ниже, чем фактические, в среднем на 50,1%, что, по-видимому, было связано с завышением целевого показателя. В пользу этого предположения говорит тот факт, что в 2008 и 2009 годах показатели материнской смертности в области составили 26,4 и 45,2 на 100 000 живорождений, что также ниже целевых показателей, принятых для следующего десятилетия [15]. Аналогично в 2007, 2008, 2009 годах показатель обеспеченности врачами на 10 000 населения составил 55,7; 54,2; 54,4 соответственно, что выше целевых показателей, принятых для следующего десятилетия [16]. Такое отличие целевых показателей от фактических

Таблица 1. Показатели значений, метод Ирвина, при $\lambda_{кр}=1,3$

Table 1. Value indicators, Irwin method, with $\lambda_{cr}=1,3$

Год Year	Архангельская область с учётом НАО Arkhangelsk Region including NAO	Архангельская область без учёта НАО Arkhangelsk Region excluding NAO
2010	—	—
2011	2,531	0,925
2012	1,688	0,925
2013	0,844	0
2014	0,844	0,925
2015	0	0
2016	0,422	0,463
2017	0,422	1,388
2018	0,844	2,776
2019	1,266	1,388
2020	1,266	1,388

Примечание: $\lambda_{кр}$ — критическое значение критерия Ирвина.
Note: λ_{cr} — the critical value of the Irwin criterion.

как в период анализа, так и в предшествующий период позволяет выдвинуть предположение о необоснованном их завышении в случае материнской смертности и о занижении — в случае обеспеченности врачами.

Выбросы 2011, 2012 годов, выявленные при анализе динамики интегральных показателей результативности по области с учётом НАО, обусловлены резким изменением уровня материнской смертности: в 2011 году она увеличилась на 81,1% (с 25,9 до 46,9 на 100 000 живорождений), а в 2012 году понизилась на 86,4% — до 6,4 на 100 000 живорождений. Аномальные значения, наблюдавшиеся с 2017 по 2020 гг., обусловлены повышенной волатильностью показателей, которая в свою очередь обусловлена резким снижением материнской смертности в 2017 году, когда она стала равной нулю, после чего место ведущего драйвера изменений заняла младенческая смертность, колебания которой и обусловили высокий уровень флуктуаций интегрального показателя (см. рис. 3, 8). Колебания уровня материнской смертности напрямую зависят от числа умерших, что в условиях их малого числа вызывает повышенный уровень волатильности показателя, в том числе выражающийся в аномальных значениях. Поэтому «ценность» показателя младенческой смертности снижается по мере сокращения числа случаев смерти, уступая место другим показателям.

Снижение показателя ОПЖ в 2020 году, в условиях иных эпидемиологических интервенций, связано с ростом уровня смертности, прямо или косвенно обусловленным пандемией COVID-19. Резкое снижение показателя материнской смертности в 2012 году является, по-видимому,

компенсаторным возвратом к тенденции снижения после резкого одномоментного подъёма показателя в 2011 году. В то же время нулевая материнская смертность с 2017 года может быть обусловлена изменениями в работе акушерско-гинекологической службы, в частности введением в строй перинатального центра. Однако эта связь требует дополнительного изучения, поскольку исследователи отмечают недоучёт материнской смертности при сравнении данных Росстата и Минздрава, изменение структуры причин материнской смертности, преобладание управляемых причин смерти [17].

Ограничения исследования. Нами не использовались значения скорректированных показателей младенческой смертности и ожидаемой продолжительности жизни, введённых в последующие годы в Государственную программу Архангельской области «Развитие здравоохранения Архангельской области», поскольку данный документ не содержал обоснования такой корректировки. Нами также не анализировался целевой показатель «смертность населения», поскольку показатель ОПЖ рассчитывается по уровням повозрастной смертности, т.е. ОПЖ — демографическое «зеркало» смертности. Нами также не проводился анализ финансовых целевых показателей, поскольку в последующие годы они неоднократно корректировались.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результативность управления системой здравоохранения в период 2010–2020 гг. находилась на среднем уровне. Основной вклад в обеспечение результативности вносят обеспеченность врачами и материнская смертность.

Динамики целевых показателей индикаторов в сравнении с их фактическими значениями, за исключением показателей ОПЖ и младенческой смертности, не совпадают. Целевые показатели результативности системы здравоохранения имеют тенденцию к завышению на фоне отсутствия внятно прописанного методологического аппарата их расчёта, что в большинстве случаев приводит к несовпадению их динамики и динамики фактических

показателей, увеличению расчётного уровня результативности управления системой здравоохранения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: К.В. Шелыгин — разработка концепции и дизайна исследования, получение, анализ, интерпретация данных, подготовка окончательного варианта статьи; Т.Н. Ушакова — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, окончательное утверждение присланной в редакцию рукописи; Н.В. Зыкова — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, окончательное утверждение присланной в редакцию рукописи; Л.И. Ложкина — организация исследования, подготовка первичного варианта статьи; В.А. Микитюк — организация исследования, подготовка первичного варианта 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).

Authors contribution: K.V. Shelygin — development of the concept and design of the study, acquisition, analysis, interpretation of data, preparation of the manuscript; T.N. Ushakova — a significant contribution to the concept and design of the study, the final approval of the manuscript sent to the editors; N.V. Zyкова — a significant contribution to the concept and design of the study, the final approval of the manuscript sent to the editors; L.I. Lozhkina — organization of the study, preparation of the first version of the article; V.A. Mikityuk — organization of the study, preparation of the first version of 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).

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

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

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривенко Н.В. Возможности повышения результативности здравоохранения для сохранения человеческого капитала и обеспечения социально-демографической безопасности региона // Экономический анализ: теория и практика. 2018. Т. 17, № 9. С. 1642–1660. doi: 10.24891/ea.17.9.1642
2. ГОСТ Р ИСО 9000—2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь». Москва : Стандартинформ, 2015. С.17. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200124393>
3. Михайлова Ю.В., Голубев Н.А., Данаев А.Б., и др. Комплексный анализ результативности и эффективности деятельности медицинских организаций ставропольского края, оказывающих первичную медико-санитарную помощь в условиях реализации принципов бережливого производства в здравоохранении // Социальные аспекты здоровья населения. 2022. Т. 68, № 3. С. 1. doi: 10.21045/2071-5021-2022-68-3-1
4. Смирнова Е.В., Волкова О.А. Жалобы граждан на доступность и качество медицинской помощи как инструмент оценки эффективности внедрения «Новой модели медицинской организации, оказывающей первичную медико-санитарную помощь взрослому населению» // Проблемы стандартизации в здравоохранении. 2021. № 3-4. С. 3–12. doi: 10.26347/1607-2502202103-04003-012

5. Иванова С.Н. Общественное здоровье и развитие здравоохранения в регионах России // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 47–63. doi: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-47-63
6. <http://demogr.nes.ru/> [интернет]. Российская база данных по рождаемости и смертности. Центр демографических исследований Российской экономической школы. Доступ по ссылке: http://demogr.nes.ru/index.php/ru/demogr_indicat/data
7. <https://rosstat.gov.ru/> [интернет]. База данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат). Доступ по ссылке: <https://rosstat.gov.ru/folder/10705>
8. Постановление Правительства Архангельской области от 12 октября 2012 года N 462-пп «Об утверждении государственной программы Архангельской области «Развитие здравоохранения Архангельской области» (с изменениями на 9 января 2023 года). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/462600002>
9. Попукайло В.С. Обнаружение аномальных измерений при обработке данных малого объема // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2016. № 4-5. С. 42–46. doi: 10.15222/TKEA2016.4-5.42
10. Аскаров Р.А., Франц М.В., Утяшева И.Б., и др. Выявление факторов ожидаемой продолжительности жизни: анализ панельных данных // *Здравоохранение Российской Федерации*. 2019. Т. 63, № 6. С. 313–321. doi: 10.18821/0044-197X-2019-63-6-313-321
11. Скипин Д.Л., Юханова Ю.А., Крыжановский О.А., Токмакова Е.Г. Ожидаемая продолжительность жизни в регионах России // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2022. Т. 15, № 2. С. 156–171. doi: 10.15838/esc.2022.2.80.10
12. Падруль М.М., Исаева Н.В., Черкасова Е.В., Берсенева С.Н. Эпидемиологическая оценка многолетней материнской и несостоявшейся материнской смертности // *Пермский медицинский журнал*. 2022. Т. 39, № 3. С. 114–121. doi: 10.17816/pmj393114-121
13. Шаповалова М.А., Бойко Ю.П., Угурчиева Х.Ю., и др. К вопросу о тенденциях и причинах младенческой смертности. // *Прикаспийский вестник медицины и фармации*. 2022. Т. 3, № 3. С. 30–38. doi: 10.48612/agmu/2022.3.3.30.38
14. Репринцева Е.В. Сравнительная оценка обеспеченности врачами здравоохранения РФ и стран Европы // *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2018. Т. 7, № 3. С. 240–243.
15. Медико-демографические показатели Российской Федерации, 2009 год. Москва : Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения Росздрава, 2010. 175 с.
16. <https://rosstat.gov.ru/>
17. [интернет]. Росстат. Здравоохранение в России 2009, 2011, статистический сборник. Доступ по ссылке: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218>
18. Бойко Ю.П., Шаповалова М.А., Щербин А.В., и др. Анализ материнской смертности в Российской Федерации. Основные тенденции // *Прикаспийский вестник медицины и фармации*. 2020. Т. 1, № 3-4. С. 8–16. doi: 10.17021/2020.1.3-4.8.16

REFERENCES

1. Krivenko NV. Opportunities for improving the healthcare performance to retain human capital and ensure socio-demographic security of the region. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2018;17(9):1642–1660. (In Russ). doi: 10.24891/ea.17.9.1642
2. GOST R ISO 9000—2015 Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'. Moscow: Standartinform; 2015. P. 17. (In Russ). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200124393>
3. Mikhaylova Yu, Golubev N, Danaev A, et al. Comprehensive analysis of effectiveness and efficiency of medical organizations of the Stavropol territory providing primary care in the context of principles of lean manufacturing in healthcare. *Social Aspects of Population Health*. 2022;68(3):1. (In Russ). doi: 10.21045/2071-5021-2022-68-3-1
4. Smirnova EV, Volkova O. Citizens' complaints about the availability and quality of medical care as a tool to evaluate the effectiveness of "A new model of a primary healthcare organization". *Health Care Standardization Problems*. 2021;(3-4):3–12. (In Russ). doi: 10.26347/1607-2502202103-04003-012
5. Ivanova SN. Public health and health care development in the regions of Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021;13(2):47–63. (In Russ). doi: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-47-63
6. <http://demogr.nes.ru/> [Internet]. Rossiiskaya baza dannykh po rozhdzaamosti i smertnosti. Tsentr demograficheskikh issledovaniy Rossiiskoi ekonomicheskoi shkoly. (In Russ). Available from: http://demogr.nes.ru/index.php/ru/demogr_indicat/data
7. <https://rosstat.gov.ru/> [Internet]. Baza dannykh Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki (Rosstat). (In Russ). Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/10705>
8. Postanovlenie Pravitel'stva Arkhangel'skoi oblasti ot 12 oktyabrya 2012 goda N 462-pp "Ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy Arkhangel'skoi oblasti "Razvitie zdavookhraneniya Arkhangel'skoi oblasti" (s izmeneniyami na 9 janvarja 2023 goda)". (In Russ). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/462600002>
9. Popukaylo VS. Detection of outliers in processing of small size data. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*. 2016;(4-5):42–46. (In Russ). doi: 10.15222/kea2016.4-5.42
10. Askarov RA, Frants MV, Utyasheva IB, et al. Identification of life expected factors: analysis of panel data. *Health Care of the Russian Federation*. 2019;63(6):313–321. (In Russ). doi: 10.18821/0044-197X-2019-63-6-313-321
11. Skipin DL, Yukhtanova YuA, Kryzhanovskii OA, Tokmakova EG. Life expectancy in Russia's regions. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2022;15(2):156–171. (In Russ). doi: 10.15838/esc.2022.2.80.10
12. Padrul MM, Isaeva NV, Cherkasova EV, Berseneva SN. Epidemiological assessment of long-term maternal and failed maternal mortality. *Perm Medical Journal*. 2022;39(3):114–121. (In Russ). doi: 10.17816/pmj393114-121
13. Shapovalova MA, Boiko YuP, Ugurchieva KhYu, et al. On the issue of trends and causes of infant mortality. *Caspian Journal of Medicine and Pharmacy*. 2022;3(3):30–38. (In Russ). doi: 10.48612/agmu/2022.3.3.30.38

14. Reprintseva EV. Comparative assessment of doctor's supply in Russia and Europe. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*. 2018;7(3):240–243. (In Russ).
15. Mediko-demograficheskie pokazateli Rossiiskoi federatsii, 2009 god. Moscow: Russian Research Institute of Health; 2010. 175 p. (In Russ).
16. <https://rosstat.gov.ru/>
17. [Internet]. Rosstat. Zdravookhranenie v Rossii 2009, 2011, statisticheskii sbornik. (In Russ). Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218>
18. Boyko YuP, Shapovalova MA, Shcherbin AV, et al. Analysis of maternal mortality in the Russian Federation the main trends. *Caspian Journal of Medicine and Pharmacy*. 2020;1(3-4):8–16. (In Russ). doi: 10.17021/2020.1.3-4.8.16

ОБ АВТОРАХ

* **Шелыгин Кирилл Валерьевич**, д.м.н., доцент;
адрес: Россия, 163000, Архангельск, пр. Троицкий, д. 51;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4827-2369>;
eLibrary SPIN: 7787-6746;
e-mail: shellugin@yandex.ru

Ушакова Татьяна Николаевна, к.э.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1933-8277>;
eLibrary SPIN: 1410-8428;
e-mail: ushakovatn@gmail.com

Зыкова Наталья Валерьевна, к.э.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7537-6860>;
eLibrary SPIN: 2056-1068;
e-mail: zykovanv@gmail.com

Ложкина Лада Ивановна, к.псих.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3687-6122>;
eLibrary SPIN: 5094-9436;
e-mail: lada1@yandex.ru

Микитюк Валентина Анатольевна, к.э.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1522-5133>;
eLibrary SPIN: 1910-1656;
e-mail: mva-vam2010@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

* **Kirill V. Shelygin**, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor;
address: 51 Troickij avenue, 163000 Arhangel'sk, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4827-2369>;
eLibrary SPIN: 7787-6746;
e-mail: shellugin@yandex.ru

Tatyana N. Ushakova, Cand. Sci. (Econ.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1933-8277>;
eLibrary SPIN: 1410-8428;
e-mail: ushakovatn@gmail.com

Natalia V. Zyкова, Cand. Sci. (Econ.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7537-6860>;
eLibrary SPIN: 2056-1068;
e-mail: zykovanv@gmail.com

Lada I. Lozhkina, Cand. Sci. (Psychol.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3687-6122>;
eLibrary SPIN: 5094-9436;
e-mail: lada1@yandex.ru

Valentina A. Mikityuk, Cand. Sci. (Econ.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1522-5133>;
eLibrary SPIN: 1910-1656;
e-mail: mva-vam2010@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112097>

Оценка загрязнения почв города Хабаровска бенз(а)пиреном

А.М. Кошельков^{1, 2}, Л.П. Майорова¹¹ Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация;² Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель. Оценка уровня загрязнения бенз(а)пиреном функциональных зон г. Хабаровска в сравнении с городами Дальнего Востока и других регионов Российской Федерации.

Материал и методы. Содержание бенз(а)пирена исследовали в поверхностном слое почвы промышленной, агро-селитебной и жилой зон Хабаровска с использованием жидкостного хроматографа с многоволновым флуоресцентным детектором Waters HPLC 2475 (Waters, США) в соответствии с МУК 4.1.1274-03. Изучено 78 проб, 48,7% которых были отобраны в жилой и 41,0% — в промышленной зоне. Оценка уровня загрязнения проведена по коэффициенту опасности и в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21. Для статистической обработки результатов применены надстройка Excel «Пакет анализа» и метод Boxplots.

Результаты. Установлено, что в 35,9% проб содержание бенз(а)пирена было ниже предела обнаружения. В 33,3% проб имело место превышение предельно допустимых концентраций (ПДК). Средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах Хабаровска составляет $0,07955 \pm 0,04310$ мг/кг, максимальная — 0,776 мг/кг (38,8 ПДК). В 86% проб концентрация бенз(а)пирена составляет 0,005–0,145 мг/кг, в жилых зонах 81,5% проб входят в интервал 0,005–0,215 мг/кг, в производственных — 90,5% проб вписываются в интервал 0,007–0,157 мг/кг. В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 к категории «чистая» относятся 62,8% проб, «допустимая» — 12,8%, «опасная» — 15,4%, «чрезвычайно опасная» — 9,0%. Распределение бенз(а)пирена в поверхностном слое характеризуется наличием техногенных аномалий с контрастностью значений коэффициента опасности 9,7–38,8. Наиболее загрязнённой является жилая застройка, попадающая в зону влияния крупнейших стационарных источников выбросов.

Заключение. Средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах Хабаровска несколько выше по сравнению с рядом городов Дальнего Востока и европейской части Российской Федерации. Сложившаяся ситуация обусловлена несовершенством градостроительных решений, не учитывающих аэрогенный привнос загрязняющих веществ и накопление их в почвах селитебной территории.

Ключевые слова: бенз(а)пирен; почвы; функциональные зоны; коэффициент опасности; категории загрязнения; г. Хабаровск.

Как цитировать:

Кошельков А.М., Майорова Л.П. Оценка загрязнения почв города Хабаровска бенз(а)пиреном // Экология человека. 2023. Т. 30, № 3. С. 181–198.
DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112097>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112097>

Assessment of benzo(a)pyrene soil contamination in Khabarovsk

Anton M. Koshelkov^{1, 2}, Lyudmila P. Mayorova¹

¹ Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation;

² Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IGD FEB RAS), Khabarovsk, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: To assess the level of benzo(a)pyrene contamination of the functional areas of Khabarovsk in comparison with other cities of the Far East and other regions of the Russian Federation.

MATERIAL AND METHODS: Benzo(a)pyrene concentration was assessed in the surface soil layer in the industrial, agro-residential and residential areas of Khabarovsk using a liquid chromatography with a multi-wave fluorescence detector Waters HPLC 2475 (Waters, USA) in accordance with the Operations Guidelines (MUK) 4.1.1274-03. In total, 78 soil samples were studied, 48.7% and 41.0% of them were collected in residential areas and industrial areas, respectively. Assessment of the pollution level was carried out by the hazard ratio and in accordance with SanPiN (Sanitary Norms and Regulations) 1.2.3685-21. Boxplots methods in MS Excel software were used for statistical analysis of the data.

RESULTS: Benzo(a)pyrene concentration was below the detection limit in 35.9% of the samples while in 33.3% of the samples it exceeded Maximum Permissible Concentration (MPC). The average benzo(a)pyrene content in Khabarovsk soils was 0.07955 ± 0.04310 mg/kg while the highest was 0.776 mg/kg (38.8 MPC). Benzo(a)pyrene content was 0.005–0.145 mg/kg in 86% of samples, in residential areas 81.5% of samples fall within the range of 0.005–0.215 mg/kg, in industrial areas 90.5% of samples — within the range of 0.007–0.157 mg/kg. According to SanPiN (Sanitary Norms and Regulations) 1.2.3685-21, 62.8% of samples are classified as “clean”, 12.8% — “permissible”, 15.4% — “hazardous”, 9.0% — “extremely hazardous”. Benzo(a)pyrene distribution in the soil surface layer is characterized by the presence of technogenic anomalies with hazard ratios varying from 9.7 to 38.8. Residential areas located within the impact zone of the largest stationary sources of emissions have the greatest levels of pollution.

CONCLUSION: The average benzo(a)pyrene concentration in the soils of Khabarovsk is higher compared to the cities in the Far East and in the European part of the Russian Federation. This situation can be at least partly explained by poor urban planning ignoring aerogenic inflow of pollutants and their accumulation in the soil in residential areas.

Keywords: benzo(a)pyrene; soil; functional zones; hazard ratio; pollution categories; Khabarovsk.

To cite this article:

Koshelkov AM, Mayorova LP. Assessment of benzo(a)pyrene soil contamination in Khabarovsk. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(3):181–198. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112097>

Received: 26.10.2022

Accepted: 04.04.2023

Published online: 23.05.2023

ОБОСНОВАНИЕ

В городах с хорошо развитой промышленностью и инфраструктурой остро стоит проблема загрязнения окружающей среды супертоксиантами, к которым относится класс полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), различающихся по числу бензольных колец и особенностям их присоединения друг к другу. Вследствие высокой канцерогенной и мутагенной активности Агентство по охране окружающей среды США (US Environmental Protection Agency, US EPA) определило 16 ПАУ как приоритетные загрязняющие вещества [1]. В России и за рубежом проводятся исследования содержания ПАУ в объектах окружающей среды, в том числе в городских почвах — главном компоненте ландшафта, депонирующем ПАУ [2–8]. В России суммарное содержание ПАУ определяли в почвах Москвы, Санкт-Петербурга, Уфы, Тюмени, исследовали содержание различного количества ПАУ в разных функциональных зонах городов. Результаты этих работ варьируют в широких пределах.

Высокая чувствительность различных организмов к бенз(а)пирену (БП) определяет использование его в качестве индикатора состояния окружающей среды для всех ПАУ [9]. В России БП подлежит обязательному контролю [10]. В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [11] предельно допустимая концентрация (ПДК) БП в почве с учётом фона (кларка) составляет 0,02 мг/кг, класс опасности первый, лимитирующий признак вредности общесанитарный. Российский норматив — более жёсткий по сравнению с нормативами Германии, Дании, Нидерландов.

Мониторинговые исследования содержания БП в почвах охватывают незначительную часть территории Российской Федерации. Наблюдения за содержанием БП в почвах фоновых площадок проводились на территории Дальневосточного федерального округа (Приморского края) в 2017–2020 гг. (концентрация БП — <0,005 мг/кг) и на территории Оренбургской области (г. Медногорск) в 2019 году (концентрация БП — 0,018 мг/кг).

Имеется ряд публикаций, характеризующих загрязнение почв БП в различных городах и регионах Российской Федерации. Значительное загрязнение почвы БП (до 5,5 ПДК) отмечено в крупных городах Красноярского края [12]. В работе [13] представлены результаты исследований на содержание БП 660 проб почв из 19 мониторинговых точек в г. Таганроге за 2013–2015 гг. Показано, что содержание БП является существенным фактором риска здоровью населения: превышение ПДК выявлено в 65,28% исследованных проб почвы при средней и максимальной концентрациях 2,45 и 38,05 ПДК соответственно. Наиболее детально исследованы почвы Москвы. В работе Г.И. Агапкиной с соавт. [6] установлено, что чуть более трети исследованных городских почв по содержанию БП классифицируются как «чистые», а около половины имеют допустимую категорию загрязнения. По данным А.Л. Чикидовой [2], в Восточном административном округе

Москвы средняя концентрация БП в почвах составляет 0,06–0,10 мг/кг, что превышает ПДК в среднем в 3–5 раз, в почвах Национального парка «Лосиный остров» — 0,005 мг/кг. В работе [14] проанализировано временное и пространственное распределение БП в почвенном покрове Москвы за 2007–2016 гг. в 2238 точках на территории 9 административных округов (данные наблюдений ГПБУ «Мосэкомониторинг»). Анализ многолетних данных показал снижение концентраций БП в 4–8 раз почти во всех округах города. Пространственная неоднородность техногенных выпадений БП на территорию города усиливается под влиянием физико-химических свойств почв (гранулометрического состава, кислотно-щелочных условий и содержания гумуса). Частота превышения ПДК за период 2007–2016 гг. снизилась более чем в 100 раз. Существенные различия между результатами ежегодного почвенного мониторинга и данными исследований других авторов могут быть обусловлены как аналитическими погрешностями, так и выбором мест опробования [14]. Изучение накопления БП в дорожной пыли разных типов дорог Москвы показало, что на крупных автодорогах превышение ПДК в почвах составило 14 раз, в центре города содержание БП в пыли дворов достигает 1,02 мг/кг (51 ПДК). Минимальный канцерогенный риск отмечен для дорог с преобладанием безостановочного движения [15]. Для городских ландшафтов Алушты установлен чрезвычайно опасный уровень загрязнения частицами PM_{10} почв почти на четверти, а дорожной пыли — на 70% территории города [16]. В работе [17] отмечено, что содержание БП в почвах и дорожной пыли превышает фоновые значения в почвах в среднем в 60 и 90 раз соответственно в Алуште, в 139 и 64 раза — в Ялте, в 260 и 89 раз — в Севастополе. Чрезвычайно опасный уровень загрязнения характерен для половины территории Севастополя, 35 и 25% городских территорий в Ялте и Алуште соответственно. Частицы PM_{10} концентрируют от 35 до 70% БП. В качестве основных источников загрязнения рассматривают выбросы автотранспорта при торможении и начале движения и продукты сгорания угля и дров при печном отоплении.

Среднее содержание БП в поверхностных слоях почвы Московской области в 2010 году в 83 раза превышало уровень в незагрязнённых фоновых почвах. Наибольший экологический риск характерен для промышленной зоны и районов расположения крупных автомагистралей. Выполнены расчёты критических нагрузок [18].

Таким образом, в большинстве опубликованных работ отмечается превышение нормативных требований по содержанию БП в почвах городских территорий. Имеет место пространственная неравномерность и приуроченность участков с повышенным содержанием БП в городских почвах к зонам влияния техногенных источников, связанных со сжиганием топлива, и автомагистралей.

Сведения о загрязнении БП почв городов Хабаровского края в доступной литературе отсутствуют.

Цель исследования. Дать оценку уровня загрязнения бенз(а)пиреном функциональных зон г. Хабаровска в сравнении с городами Дальнего Востока и других регионов Российской Федерации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Бенз(а)пирен как поллютант

Бенз(а)пирен — это полициклический углеводород состава $C_{20}H_{12}$, образующийся при воздействии высокой температуры на некоторые органические вещества. Химическое название вещества по IUPAC — 3,4-бензпирен. Синонимы — 3,4-бензопирен; 6,7-бензопирен; бензо(d,e,f)хризен; benzo[a]pyrene; benzo(a)pyrene; benzo[def]chrysene. Торговые названия — бензо[а]пирен, бенз(а)пирен. CAS — 50-32-8 [19]. По классификации МАИР относится к первой категории: канцерогенен для человека. Основной путь воздействия пероральный, наиболее поражаемые органы и системы — печень, желудочно-кишечный тракт, почки, дыхательная система (БП способен вызывать в ней необратимые изменения вплоть до образования злокачественных опухолей и возникновения мутаций). Помимо канцерогенного, бенз(а)пирен оказывает мутагенное, эмбриотоксическое, гематотоксическое и театогенное действие.

Опасность БП усугубляется тем, что он способен накапливаться в организме, подобно радиоактивным веществам.

Главное условие образования БП — температура 800–1000 °С. Соответственно, основными антропогенными источниками поступления его в окружающую среду являются промышленные выбросы от нефтеперерабатывающих, металлургических, коксохимических и иных производств, предприятий теплоэнергетики, а также наземный транспорт, авиация, водный транспорт [9].

Глобальная эмиссия БП в природную среду составляет более 20 000 т в год. [20]. Он вместе с другими ПАУ оседает на частицах сажи и смолы и на поверхности почвы. В почву БП поступает в основном с атмосферными осадками. Максимальное его содержание отмечается в поверхностных горизонтах из-за высокой сорбционной способности по отношению к БП органических веществ. В поверхностном слое почв сельских районов, находящихся вдали от индустриальных центров, содержание БП не превышает 5–8 нг/г сухой массы. В почве БП опускается вертикально вниз под влиянием гравитационных сил и распространяется вширь под действием поверхностных и капиллярных сил. Такое проникновение приводит к нарушению сложившегося геохимического баланса в экосистеме [9]. Вследствие малодоступности БП почвенным бактериям процесс его разрушения идёт очень медленно [21]. Будучи химически сравнительно устойчивым, БП может долго мигрировать из одних объектов в другие, накапливаясь в пищевых цепях.

Предпосылки загрязнения почв бенз(а)пиреном на исследуемой территории

Основными стационарными источниками загрязнения атмосферы на территории Хабаровска являются АО ННК «Хабаровский нефтеперерабатывающий завод» (ХНПЗ) и Хабаровские ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3. С учётом преобладающих направлений ветра выбросы этих предприятий могут перемещаться на достаточные расстояния за пределы промышленных зон размещения. Второстепенным фактором загрязнения почв бенз(а)пиреном на исследуемых территориях может быть транспорт, однако влияние ТЭЦ является более существенным, особенно в отопительный период.

На исследуемых территориях города большая часть почвенных группировок сильно изменена и представлена в основном техногенными грунтами, задернованными с поверхности. До освоения территории почвенный покров холмисто-увалистых возвышенных территорий был представлен бурыми отбеленными суглинисто-глинистыми почвами и в меньшей степени — бурозёмовидными суглинисто-слабощебнистыми почвами [22]. На равнинных и чаще заболоченных поверхностях городской территории (2-я надпойменная терраса р. Амур и долины малых рек) ранее формировались иловато-дерново-глеевые и иловато-торфянисто-глеевые почвы, которые впоследствии были перекрыты отвальными и привозными грунтами для различных видов строительства [22]. Общие особенности вновь формирующихся почвенных образований в пределах всей городской территории — техногенное происхождение почвообразующей породы и преимущественно суглинистый состав. Следует также отметить, что в почвенных профилях исследуемых прикопок общая мощность всех органогенных горизонтов (включая слои вымывания органического вещества) не превышает 20 см.

Отбор проб и лабораторные исследования

В ходе проведения исследований за период 2017–2020 гг. было отобрано 78 проб почв на территориях различного функционального назначения и вблизи крупнейших стационарных источников загрязнения в черте г. Хабаровска. Пробы почв и грунтов отбирали из поверхностного слоя (0,0–0,05–0,2 м) в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01—2017, ГОСТ Р 58595—2019, ПНД Ф 12.1:2.2:2.3:3.2-03 (издание 2014 года). При отборе составлялись объединённые пробы путём смешивания точечных образцов. Для составления каждой объединённой пробы точечные образцы отбирали послойно с глубины 0–5 и 5–20 см в пяти точках одной пробной площадки размером 5×5 м. Отбор проб производили в стеклянную посуду при оптимальных погодных условиях. В ходе доставки образцов в лабораторию были приняты меры по предупреждению возможности их загрязнения.

В процессе подготовки образцов к лабораторным исследованиям их предварительно высушивали при комнатной температуре, затем измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Содержание БП в навесках определяли на жидкостном хроматографе с многоволновым флуоресцентным детектором Waters HPLC 2475 (Waters, США) в соответствии с МУК 4.1.1274-03. Используемое для лабораторных исследований оборудование Waters HPLC 2475 ежегодно поверялось (свидетельства № 017376 до 04.08.2017 г., № 061851 до 31.07.2018 г., № 112625 до 24.07.2019 г., № 021155 до 22.07.2020 г., № 093129 до 14.07.2021 г.). Погрешность всех полученных и обработанных результатов не превысила 25%, что соответствует МУК 4.1.1274-03.

Точки отбора проб, основные источники возможного загрязнения почв БП, зоны влияния объектов энергетики представлены на рис. 1.

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием надстройки Excel «Пакет анализа» и метода Boxplots («ящик с усами», диаграмма размаха (*англ.* box-and-whiskers diagram or plot, box plot), который позволяет компактно изображать скошенные данные. Такой вид диаграммы в удобной форме показывает медиану, нижний и верхний квартили, минимальное и максимальное значение выборки и выбросы. Для визуализации данных использовали иерархическую диаграмму «Дерево». При оценке загрязнения вычисляли коэффициент экологической опасности (коэффициент опасности K_0):

$$K_0 = \frac{C_i}{\text{ПДК}_{\text{БП}}},$$

где C_i — фактическое содержание БП, мг/кг.

Соответствие допустимым нормам и определение степени загрязнения исследованных почв оценивали по СанПиН 1.2.3685-21 [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание БП в исследованных почвах г. Хабаровска представлено в табл. 1. Наименее загрязнёнными площадками предполагаются окраинные территории, представленные агроселитебными зонами, расположенными в Железнодорожном районе города. Буферной зоной между источниками выбросов и территориями с низкой нагрузкой с учётом сформировавшейся застройки города, как правило, являются жилые массивы. Из 78 исследованных проб 38 образцов (48,7%) отобраны в жилых зонах, 32 образца (41,0%) — в промышленных, 8 образцов (10,3%) — в агроселитебных (см. рис. 1).

В 28 точках (35,9%) концентрация БП оказалась ниже предела обнаружения (<0,005 мг/кг). Эти точки были исключены из дальнейшего анализа.

В соответствии с критерием согласия Пирсона исследуемая выборка не подчиняется нормальному закону распределения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Boxplots («ящик с усами», диаграмма размаха) построен по выборкам: общий массив данных, жилые и производственные зоны, из которых исключены точки с концентрацией БП менее 0,005 мг/кг (ниже предела обнаружения прибора) (рис. 2). Выявлено 7 выбросов, четыре из которых (57,1%) входят в интервал от 9,7 до 20,0 ПДК, 3 (42,9%) — в интервал 20,1–38,8 ПДК. На жилые зоны приходится 71,4% точек выбросов, на производственные — 28,6%. Основные характеристики метода Boxplots, представленные в табл. 2, показывают, что минимальное значение для всех выборок приблизительно одинаково, максимальное значение и медиана — ниже, а межквартильный размах и количество точек выбросов выше для жилых зон.

Распределение БП в поверхностном слое характеризуется наличием техногенных аномалий с контрастностью значений коэффициента опасности 9,7–38,8. Пять из семи точек выброса группируются в зоне влияния ТЭЦ-2, ХНПЗ, бывшего завода «Дальдизель» (см. рис. 1, зона 1).

В общей выборке в 86% проб концентрация БП составляет 0,005–0,145 мг/кг, в жилых зонах 81,5% проб входят в интервал 0,005–0,215 мг/кг, в производственных зонах 90,5% проб вписываются в интервал 0,007–0,157 мг/кг (рис. 3).

Сводные показатели загрязнения почв г. Хабаровска БП, приведённые в табл. 3, показали, что средняя концентрация БП в почвах Хабаровска составляет $0,07955 \pm 0,04310$; превышение ПДК выявлено в 33,33% исследованных проб; более высокий уровень загрязнения приходится на жилые зоны, находящиеся под воздействием объектов энергетики и ХНПЗ. Максимальное содержание БП отмечено в почве жилых зон и составляет 0,776 мг/кг, коэффициент опасности — 38,8.

В агроселитебной зоне максимальная концентрация составила 0,048 мг/кг, соответствующий коэффициент опасности минимален — 2,4.

В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 62,8% проб относятся к категории «чистая» (включая точки с содержанием БП ниже предела обнаружения), 12,8% — к категории «допустимая», 15,4% — «опасная», 9,0% — «чрезвычайно опасная».

Наиболее загрязнёнными являются жилые зоны, которые расположены по периметру производственных зон и непосредственно крупнейших стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и попадают в зоны их рассеивания. Для почв, отобранных в жилой зоне, характерна самая высокая доля экстремальных загрязнений: 15,8% — с категорией «опасная», 13,2% — с категорией «чрезвычайно опасная». Наибольшей долей чистых проб отличается агроселитебная зона, для которой характерно отсутствие проб с категорией загрязнения «чрезвычайно опасная» (рис. 4).

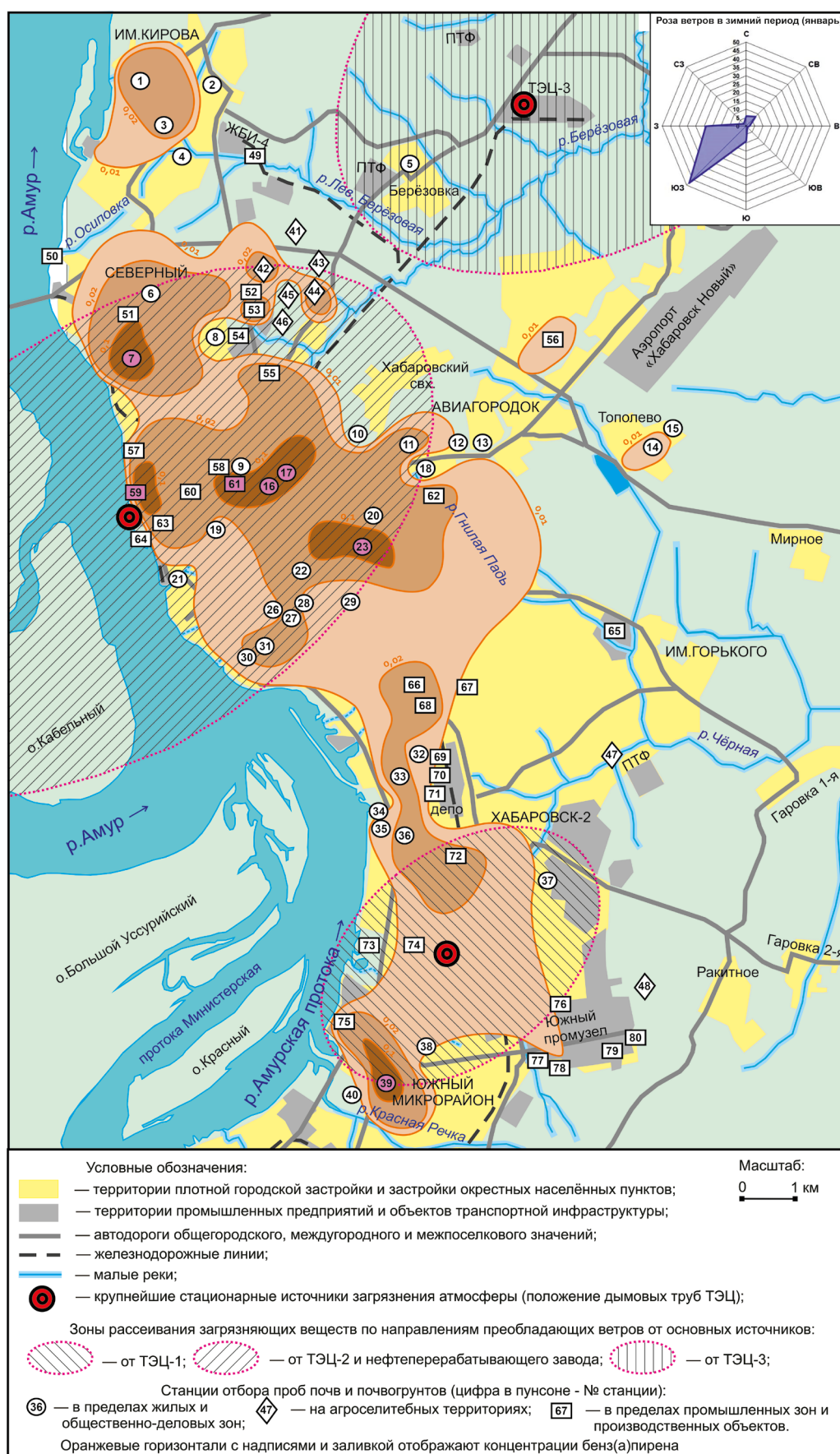


Рис. 1. Схема расположения точек отбора почв для исследования содержания бенз(а)пирена.

Fig. 1. Map of soil sampling sites for benzo(a)pyrene concentration assessment.

Таблица 1. Загрязнение почв бенз(а)пиреном на территории города Хабаровска, мг/кг**Table 1.** Contamination of soils with benzo(a)pyrene in Khabarovsk, mg/kg

№ станции отбора Soil sampling site	Административный район Хабаровска Administrative district	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84) Location in the WGS 84 coordinate system	Концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Доли ПДК Proportion of MPC	Категория загрязнения почв Soil contamination category
Жилые зоны Residential areas					
1	Краснофлотский	N48°34'29,2641" E135°02'10,1412"	0,044±0,011	2,2	Опасная
2	Краснофлотский	N48°34'32,6737" E135°03'46,0884"	<0,005	н.п.о.	Чистая
3	Краснофлотский	N48°33'42,8662" E135°02'36,1082"	0,026±0,006	1,3	Опасная
4	Краснофлотский	N48°33'25,1618" E135°02'39,7588"	<0,005	н.п.о.	Чистая
5	Краснофлотский	N48°33'38,8595" E135°06'49,5789"	0,005±0,001	0,25	Чистая
6	Краснофлотский	N48°32'10,8806" E135°02'05,6536"	0,031±0,009	1,55	Допустимая*
7	Краснофлотский	N48°31'19,2659" E135°01'51,5716"	0,399±0,099	19,95	Чрезвычайно опасная
8	Краснофлотский	N48°31'43,5686" E135°03'23,3393"	0,005±0,001	0,25	Чистая
9	Железнодорожный	N48°30'11,4635" E135°03'57,6235"	0,010±0,002	0,5	Чистая
10	Железнодорожный	N48°30'34,8896" E135°05'33,3039"	<0,005	н.п.о.	Чистая
11	Железнодорожный	N48°30'23,2363" E135°06'31,9020"	0,022±0,005	1,1	Опасная
12	Железнодорожный	N48°30'24,2298" E135°07'10,1457"	0,009±0,002	0,45	Чистая
13	Железнодорожный	N48°30'23,4199" E135°07'55,5292"	<0,005	н.п.о.	Чистая
14	Железнодорожный	N48°30'25,5867" E135°10'40,2959"	0,013±0,003	0,65	Чистая
15	Железнодорожный	N48°30'38,2135" E135°10'37,8439"	<0,005	н.п.о.	Чистая
16	Железнодорожный	N48°30'04,6139" E135°04'15,3352"	0,776±0,128	38,8	Чрезвычайно опасная
17	Железнодорожный	N48°30'11,0554" E135°04'26,3468"	0,276±0,055	13,8	Чрезвычайно опасная
18	Железнодорожный	N48°30'14,6625" E135°06'37,7863"	<0,005	н.п.о.	Чистая
19	Кировский	N48°29'32,5748" E135°03'30,7702"	<0,005	н.п.о.	Чистая
20	Железнодорожный	N48°29'44,4384" E135°05'52,9588"	0,014±0,003	0,7	Чистая
21	Кировский	N48°29'02,3449" E135°02'43,6547"	<0,005	н.п.о.	Чистая

Продолжение табл. 1 | Continuation of the Table 1

№ станции отбора Soil sampling site	Административный район Хабаровска Administrative district	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84) Location in the WGS 84 coordinate system	Концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Доли ПДК Proportion of MPC	Категория загрязнения почв Soil contamination category
22	Центральный	N48°29'10,3404" E135°04'48,9238"	0,078±0,006	3,9	Опасная
23	Центральный	N48°29'25,9666" E135°05'49,6353"	0,280±0,055	14,0	Чрезвычайно опасная
26	Центральный	N48°28'42,2957" E135°04'14,4991"	<0,005	н.п.о.	Чистая
27	Центральный	N48°28'38,4408" E135°04'53,2745"	0,042±0,009	2,1	Опасная
28	Центральный	N48°29'04,2536" E135°04'14,3212"	0,009±0,002	0,45	Чистая
29	Центральный	N48°28'44,9519" E135°05'45,9824"	0,0135±0,0030	0,675	Чистая
30	Центральный	N48°28'08,3218" E135°03'55,5015"	0,0085±0,0020	0,425	Чистая
31	Центральный	N48°28'16,9187" E135°04'21,6359"	0,038±0,009	1,9	Допустимая*
32	Индустриальный	N48°27'14,8732" E135°06'43,7348"	0,010±0,002	0,5	Чистая
33	Индустриальный	N48°26'57,8553" E135°06'11,1170"	0,020±0,005	1,0	Допустимая*
34	Индустриальный	N48°26'38,5250" E135°06'01,4480"	<0,005	н.п.о.	Чистая
35	Индустриальный	N48°26'25,5587" E135°06'01,5791"	0,0125±0,003	0,625	Чистая
36	Индустриальный	N48°26'15,6567" E135°06'22,1694"	0,067±0,017	3,35	Опасная
37	Железнодорожный	N48°25'40,8764" E135°08'45,0246"	<0,005	н.п.о.	Чистая
38	Индустриальный	N48°23'51,4803" E135°06'28,2383"	0,009±0,002	0,45	Чистая
39	Индустриальный	N48°23'22,7287" E135°05'55,8409"	0,4026±0,0990	20,13	Чрезвычайно опасная
40	Индустриальный	N48°23'11,1049" E135°05'29,5509"	0,007±0,001	0,35	Чистая
Агрореселитебные зоны Agro-residential areas					
41	Железнодорожный	N48°32'53,4416" E135°05'21,0136"	<0,005	н.п.о.	Чистая
42	Железнодорожный	N48°32'35,9002" E135°04'08,8643"	0,048±0,010	2,4	Опасная
43	Железнодорожный	N48°32'25,6929" E135°05'26,4697"	<0,005	н.п.о.	Чистая
44	Железнодорожный	N48°32'15,6386" E135°05'28,1692"	0,030±0,007	1,5	Допустимая*

Продолжение табл. 1 | Continuation of the Table 1

№ станции отбора Soil sampling site	Административный район Хабаровска Administrative district	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84) Location in the WGS 84 coordinate system	Концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Доли ПДК Proportion of MPC	Категория загрязнения почв Soil contamination category
45	Железнодорожный	N48°32'01,8643" E135°04'53,2919"	<0,005	н.п.о.	Чистая
46	Железнодорожный	N48°31'53,5530" E135°04'52,2876"	<0,005	н.п.о.	Чистая
47	Железнодорожный	N48°26'54,8679" E135°09'56,3946"	<0,005	н.п.о.	Чистая
48	Железнодорожный	N48°24'48,6371" E135°10'09,1043"	<0,005	н.п.о.	Чистая
Производственные зоны Industrial areas					
49	Краснофлотский	N48°33'24,8779" E135°05'01,9338"	<0,005	н.п.о.	Чистая
50	Краснофлотский	N48°32'38,3997" E135°00'51,0709"	0,010±0,002	0,5	Чистая
51	Краснофлотский	N48°32'08,9326" E135°01'41,2275"	0,097±0,020	4,85	Опасная
52	Железнодорожный	N48°32'26,9640" E135°04'13,7764"	0,0085±0,0020	0,425	Чистая
53	Железнодорожный	N48°32'13,0950" E135°04'10,3866"	0,0357±0,0080	1,785	Допустимая*
54	Железнодорожный	N48°31'47,9192" E135°03'44,4270"	<0,005	н.п.о.	Чистая
55	Железнодорожный	N48°31'10,1773" E135°04'17,6242"	0,038±0,009	1,9	Допустимая*
56	Железнодорожный	N48°31'14,8916" E135°09'04,6886"	0,010±0,002	0,5	Чистая
57	Кировский	N48°30'21,4483" E135°02'02,0612"	0,031±0,007	1,55	Допустимая*
58	Кировский	N48°30'21,8960" E135°03'41,4131"	0,020±0,005	1,0	Допустимая*
59	Кировский	N48°29'58,7003" E135°02'12,6030"	0,528±0,130	26,4	Чрезвычайно опасная
60	Кировский	N48°29'56,0385" E135°02'46,3704"	<0,005	н.п.о.	Чистая
61	Железнодорожный	N48°30'08,4254" E135°03'57,0214"	0,194±0,048	9,7	Чрезвычайно опасная
62	Железнодорожный	N48°29'49,3199" E135°06'58,3926"	0,057±0,014	2,85	Опасная
63	Кировский	N48°29'34,7293" E135°02'25,5483"	0,04±0,01	2,0	Опасная
64	Кировский	N48°29'32,8343" E135°02'18,4564"	<0,005	н.п.о.	Чистая
65	Железнодорожный	N48°28'17,3024" E135°09'57,8367"	<0,005	н.п.о.	Чистая

Окончание табл. 1 | End of the Table 1

№ станции отбора Soil sampling site	Административный район Хабаровска Administrative district	Местоположение объекта (координаты в системе WGS 84) Location in the WGS 84 coordinate system	Концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Доли ПДК Proportion of MPC	Категория загрязнения почв Soil contamination category
66	Индустриальный	N48°27'46,5700" E135°06'11,9792"	0,047±0,010	2,35	Опасная
67	Железнодорожный	N48°28'05,3877" E135°07'45,4490"	0,007±0,001	0,35	Чистая
68	Индустриальный	N48°27'48,3085" E135°06'51,2428"	0,036±0,009	1,8	Допустимая*
69	Индустриальный	N48°27'11,6787" E135°07'08,0910"	0,009±0,002	0,45	Чистая
70	Индустриальный	N48°26'59,2147" E135°07'11,6227"	<0,005	н.п.о.	Чистая
71	Индустриальный	N48°26'44,7397" E135°06'59,4732"	<0,005	н.п.о.	Чистая
72	Железнодорожный	N48°25'39,6463" E135°07'43,0200"	0,020±0,005	1,0	Допустимая*
73	Индустриальный	N48°24'40,0408" E135°05'45,8393"	<0,005	н.п.о.	Чистая
74	Индустриальный	N48°25'08,1341" E135°06'34,2283"	0,014±0,003	0,7	Чистая
75	Индустриальный	N48°24'15,2068" E135°05'31,2780"	0,055±0,014	2,75	Опасная
76	Индустриальный	N48°24'06,4572" E135°08'55,4492"	0,008±0,002	0,4	Чистая
77	Индустриальный	N48°23'31,7577" E135°08'26,1824"	<0,005	н.п.о.	Чистая
78	Индустриальный	N48°23'31,4624" E135°08'38,5258"	0,007±0,001	0,35	Чистая
79	Индустриальный	N48°23'42,6337" E135°09'50,5804"	<0,005	н.п.о.	Чистая
80	Индустриальный	N48°23'53,7195" E135°10'22,6381"	<0,005	н.п.о.	Чистая

Примечание: здесь и в табл. 3, 4 ПДК — предельно допустимая концентрация; н.п.о. — значение ниже предела обнаружения прибором; * в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 для почв, загрязнённых органическим токсикантом 1-го класса опасности, на уровне от 1 до 2 ПДК устанавливается категория «допустимая».

Note: Here and in Tables 3, 4 MPC — Maximum Permissible Concentration; н.п.о. — below detection level; * acceptable category can be assigned to soils contaminated with I Class organic toxicant between 1–2 MPC according to SanPin 1.2.3685-21.

Анализ в разрезе административных районов города показал, что максимальные значения средних концентраций БП отмечены в почве жилых зон Железнодорожного района — 0,16 мг/кг (коэффициент опасности равен 8). По содержанию БП в почве производственных зон лидирует Кировский район — 0,1548 мг/кг, коэффициент опасности равен 7,74 (рис. 5). Ранжирование административных районов выполнено по среднему и максимальному содержанию БП в почве и сумме рангов раздельно по жилым и производственным зонам. Наиболее

загрязнённым является Железнодорожный район. По загрязнению в промзоне лидирует Кировский район, в котором размещены Речной порт, ХНПЗ, ТЭЦ-2, бывший завод «Дальдизель».

Полученные результаты сравнивали с результатами исследований по другим населённым пунктам Дальнего Востока и Европейской части РФ (табл. 4 [15, 21, 23–25]).

Представленные данные показывают, что:

- среднее содержание БП в городских почвах изменяется от 0,021 до 0,07955 мг/кг, более высокие

- значения соответствуют городам со сложной структурой функциональных зон и разнообразными источниками загрязнения;
- наиболее высокие значения максимальных коэффициентов опасности отмечены для Комсомольска-на-Амуре и Таганрога с развитой промышленностью и для Хабаровска (энергетика и транспорт);
 - высокие средние концентрации БП в Волгограде определены в окрестности ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», в Москве — в дорожной пыли на разных типах дорог, а также автостоянок во дворах;
 - приоритетными источниками поступления БП в почвы являются объекты промышленности, связанные со сжиганием топлива, а также объекты энергетики и автотранспорт, что подтверждается практически во всех цитированных в статье литературных источниках.

Известно, что функциональная структура города в сочетании с ландшафтно-геохимическими условиями относится к важным факторам, определяющим уровень техногенного воздействия на почву [25]. Специфика и уровень техногенной нагрузки на городские почвы, т.е. интенсивность поступления поллютантов, определяются видом использования территории, а уровень их накопления зависит от фиксирующей способности почв. Пространственное распределение БП находится в зависимости от количества и геохимической специализации источников загрязнения [14]. Результаты проведённых исследований по г. Хабаровску и другим дальневосточным населённым пунктам полностью согласуются с этими выводами.

Логичным продолжением работы являются исследования в точках выбросов с изучением распределения содержания БП по почвенным горизонтам, определением радиальной дифференциации и расчётом индивидуального канцерогенного риска.

Таблица 2. Описательная статистика концентрации бензо(а)пирена в почве г. Хабаровска

Table 2. Benzo(a)pyrene soil concentration in Khabarovsk

Выборка Location	Минимальное значение, мг/кг Min, mg/kg	Максимальное значение, мг/кг Max, mg/kg	Межквартильный размах, мг/кг Interquartile range, mg/kg	Медиана, мг/кг Median, mg/kg	Количество точек выброса Number of outliers
Общий массив Total area	0,005	0,097	0,040	0,024	7
Жилые зоны Residential areas	0,005	0,078	0,058	0,02	5
Производственные зоны Industrial areas	0,007	0,097	0,0415	0,031	2



Рис. 2. «Ящик с усами» по концентрациям бенз(а)пирена в почвах г. Хабаровска.
Fig. 2. Boxplots on the benzo(a)pyrene concentration in soils of Khabarovsk.

Таблица 3. Показатели загрязнения бенз(а)пиреном почв г. Хабаровска (2017–2020 гг.)

Table 3. Indicators of benzo(a)pyrene soil contamination in Khabarovsk (2017–2020)

Показатели	Всего Total	В том числе Stratified by area		
		жилые зоны residential areas	производственные зоны industrial areas	агроселитебные зоны agro-residential areas
Число отобранных проб почвы: Number of soil samples:	78	38	32	8
с концентрацией бенз(а)пирена <0,005 with benzo(a)pyrene concentration <0.005	28	11	11	6
с концентрацией >0,005 with benzo(a)pyrene concentration <0.005	50	27	21	2
с концентрацией > ПДК with benzo(a)pyrene concentration > MPC	26	13	11	2
Удельный вес проб, в которых бенз(а)пирен не обнаружен Proportion of samples with no benzo(a)pyrene detected	35,90	28,96	34,38	75,0
Удельный вес проб с превышением ПДК Proportion of samples with benzo(a)pyrene concentration > MPC	33,33	34,21	34,38	25,0
Средняя концентрация, мг/кг Mean concentration of benzo(a)pyrene, mg/kg	0,07955±0,04310	0,0973±0,0712	0,06058±0,05240	0,039
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по средней концентрации Pollution indicator (hazard coefficient) by mean concentration	3,98	4,87	3,02	1,95
Минимальная концентрация, мг/кг Minimal concentration, mg/kg	0,005	0,005	0,007	0,03
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по минимальной концентрации Pollution indicator (hazard coefficient) by minimal concentration	0,25	0,25	0,35	1,5
Максимальная концентрация, мг/кг Maximal concentration, mg/kg	0,776	0,776	0,528	0,048
Показатель загрязнения (коэффициент опасности) по максимальной концентрации Pollution indicator (hazard coefficient) by maximal concentration	38,8	38,8	26,4	2,4

Примечание: ПДК — предельно допустимая концентрация.
Note: MPC — maximal permissible concentration.

Таблица 4. Сравнительный анализ концентрации бенз(а)пирена в почвах городов**Table 4.** Benzo(a)pyrene concentration in urban soils (comparative analysis)

Населённый пункт Setting	Количество точек отбора Number of sampling sites	Средняя концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Mean benzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Максимальная концентрация бенз(а)пирена, доли ПДК Mean benzo(a)pyrene concentration, % MPC	Примечание Note
Город Хабаровск Khabarovsk [15, 21, 23–25]	78	0,07955	38,8	Наиболее загрязнёнными являются жилые зоны, расположенные по периметру производственных зон
Город Благовещенск Blagoveshensk [15, 21, 23–25]	18	0,02	2,15	Концентрация бенз(а)пирена выше порога определения обнаружена только в двух пробах, в одной из которых значение показателя ниже ПДК, во второй — 2,15 ПДК
Город Комсомольск-на-Амуре Komsomolsk-on-Amur [15, 21, 23–25]	31	0,0616	58,6	Категория загрязнения «допустимая» отмечена в 84,2%, «опасная» — в 5,3%, «чрезвычайно опасная» — в 10,5% проб. Более загрязнена промзона
Ванино-Токинская агломерация Vanino-Tokinsk agglomeration [21]	21	0,06375	6	Доля проб с концентрацией бенз(а)пирена ниже предела обнаружения составляет 66,7%. Категория загрязнения «опасная» отмечена в 14,3%, «чрезвычайно опасная» — в 9,5% проб. Более загрязнена жилая застройка
Город Таганрог Taganrog [23]	384	0,0460	45,5	Приведены данные за 2013–2020 гг. в 19 мониторинговых точках. Показано, что долевым вклад бенз(а)пирена в комплексный показатель загрязнения составляет (Кпочва) 55,25%. Превышение ПДК бенз(а)пирена зарегистрировано в 65,63% исследованных проб почвы при его средней и максимальной концентрациях 2,298 и 45,525 ПДК соответственно. Закономерно выше оказалось загрязнение 3,4-бенз(а)пиреном почв селитебных территорий вблизи от перекрёстков с интенсивным движением автотранспорта. Выполнена оценка индивидуального многомаршрутного канцерогенного риска (CR), обусловленного содержащимся в почве бенз(а)пиреном. Установлен его высокий уровень ($2,4606 \cdot 10^{-3}$) при приоритетном значении ингаляционного пути поступления (94,84%)
Город Воронеж Voronezh [25]	136	0,023	18	Показано, что уровень загрязнения почв города бенз(а)пиреном колеблется от 0,005 до 0,36 мг/кг и в разных функциональных зонах увеличивается в ряду: рекреационная, селитебная, промышленная, транспортная. Наиболее загрязнены почвы, расположенные в непосредственной близости от промышленных зон, центральных улиц и автомагистралей
Город Волгоград Volgograd [24]	105	0,153	8,2	Исследования выполнены в окрестности ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка». Исследовано 7 функциональных зон. Отмечено, что содержание бенз(а)пирена максимально (более 7,7 ПДК) в почвенном покрове полигонов захоронения твёрдых и вязких отходов. Концентрация бенз(а)пирена в почвенном покрове промзоны в 9 раз ниже, чем на полигонах, превышение ПДК локально. В почвах санитарно-защитной зоны и жилого массива

Окончание табл. 4 | End of the Table 4

Населённый пункт Setting	Количество точек отбора Number of sampling sites	Средняя концентрация бенз(а)пирена, мг/кг Mean bemzo(a)pyrene concentration, mg/kg	Максимальная концентрация бенз(а)пирена, доли ПДК Mean bemzo(a)pyrene concentration, % MPC	Примечание Note
Город Москва Moscow [15]	160+33 (дворы и стоянки)	0,26	14,5/51	превышение ПДК бенз(а)пирена не выявлено, концентрация составляет соответственно 0,006 и 0,010 мг/кг Исследовано накопление бенз(а)пирена в дорожной пыли на разных типах дорог Москвы. Показано что наиболее загрязнёнными территориями являются крупные дороги (0,29 мг/кг; 14,5 ПДК) и автостоянки во дворах (0,37 мг/кг). В центре города содержание бенз(а)пирена в пыли дворов достигает 1,02 мг/кг (превышение ПДК в 51 раз). Канцерогенный риск для взрослых наиболее высок во дворовых зонах на юге, юго-западе, северо-западе и в центре Москвы

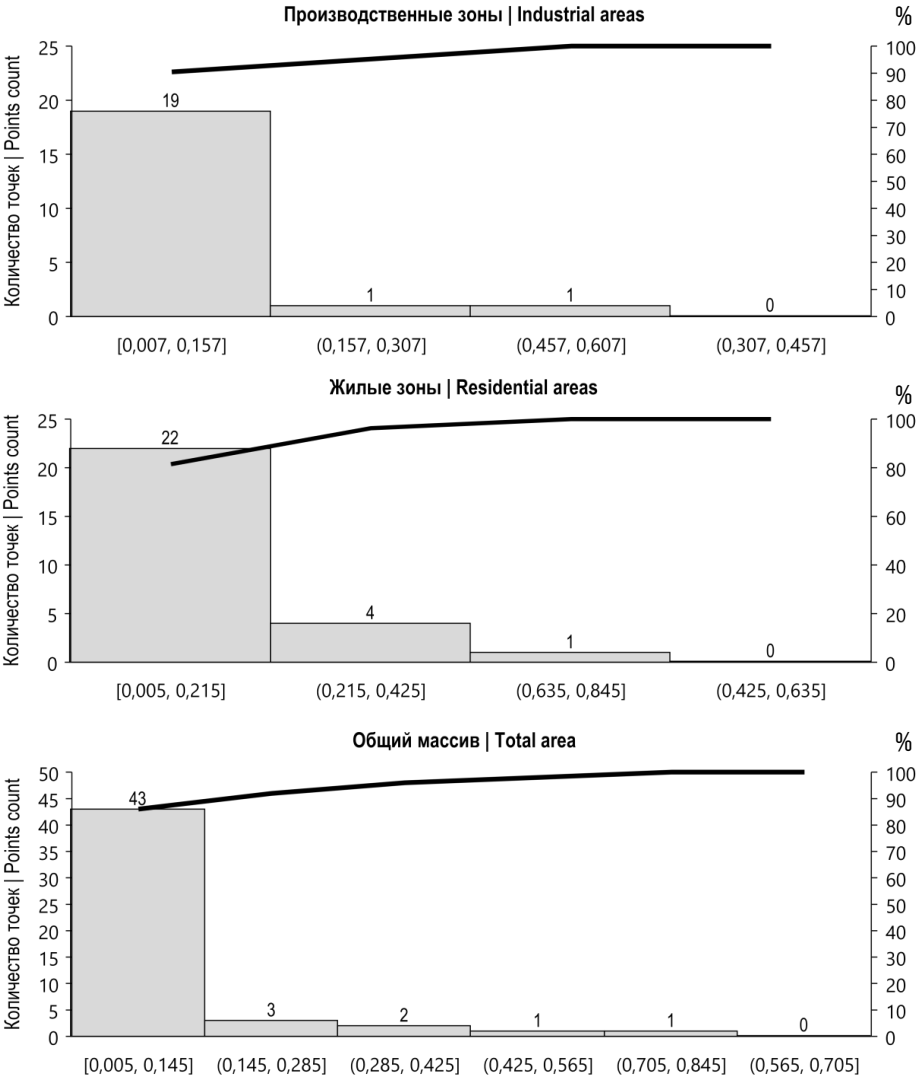


Рис. 3. Диаграммы Парето.
Fig. 3. Pareto Charts.

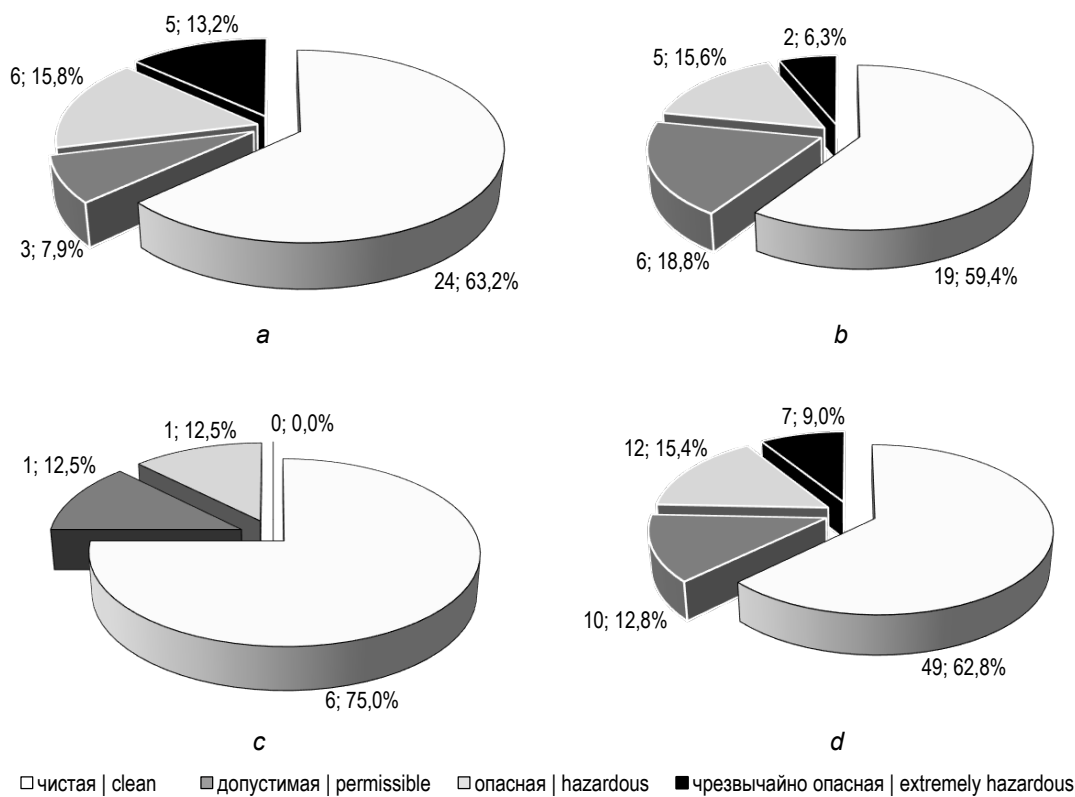


Рис. 4. Доля проб, процент по категориям загрязнения в разных функциональных зонах: *а* — жилые зоны, *б* — промышленные зоны, *в* — агроселитебные зоны, *г* — общая выборка.
Fig. 4. Percentage of samples, across pollution categories in different functional zones: *a* — residential zones, *b* — industrial zones, *c* — agro-residential zones, *d* — all zones.

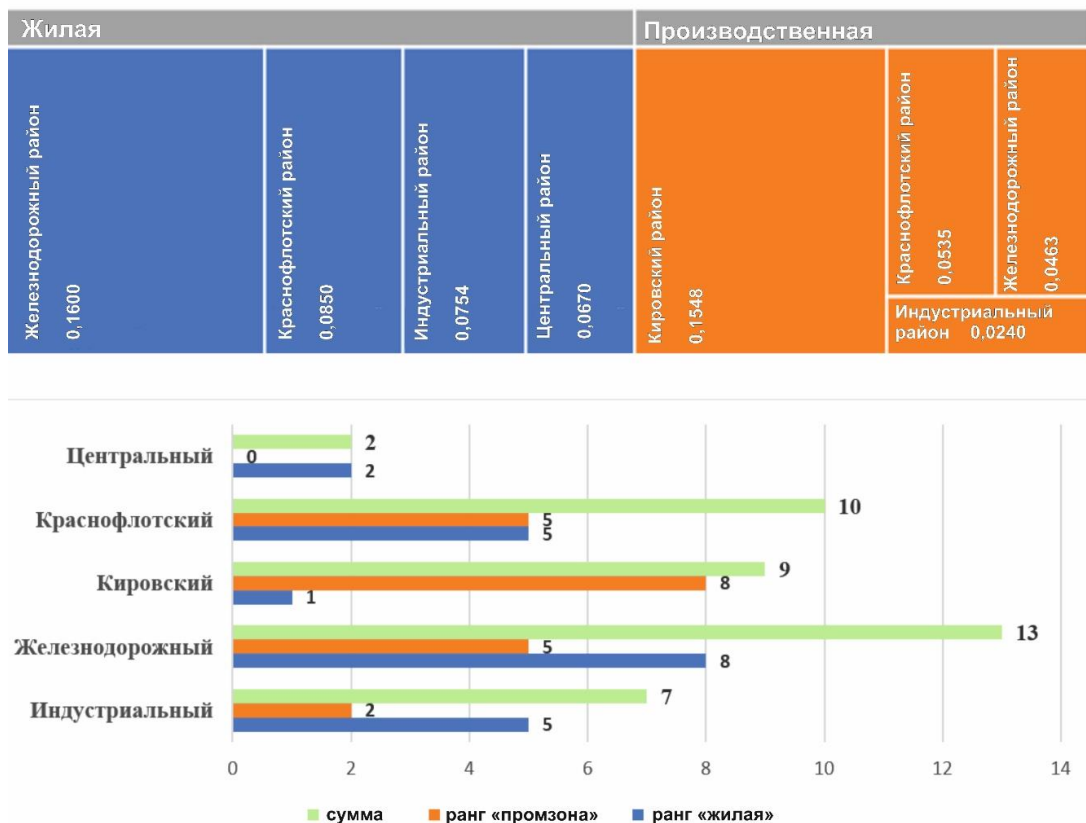


Рис. 5. Иерархическая диаграмма по административным районам Хабаровска и ранжирование административных районов.
Fig. 5. Hierarchical diagram for administrative districts of Khabarovsk and administrative districts ranking.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах Хабаровска составляет $0,07955 \pm 0,04310$, превышение предельно допустимой концентрации выявлено в 33,33% исследованных проб. Более высокий уровень загрязнения приходится на жилые территории, находящиеся в зоне влияния объектов энергетики и Хабаровского нефтеперерабатывающего завода. Максимальное содержание бенз(а)пирена отмечено в почве жилых зон и составляет 0,776 мг/кг, коэффициент опасности — 38,8. В соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 62,8% проб относятся к категории «чистая» (включая точки с содержанием бенз(а)пирена ниже предела обнаружения), 12,8% — к категории «допустимая», 15,4% — «опасная», 9% — «чрезвычайно опасная». Анализ в разрезе административных районов города показал, что максимальные значения средних концентраций бенз(а)пирена отмечены в почве жилых зон Железнодорожного района — 0,16 мг/кг (коэффициент опасности равен 8), производственных зон Кировского района — 0,1548 мг/кг (коэффициент опасности равен 7,74).

Средняя концентрация бенз(а)пирена в почвах Хабаровска несколько выше по сравнению с рядом городов Дальнего Востока и европейской части РФ. Сложившаяся

ситуация обусловлена несовершенством градостроительных решений, не учитывающих аэрогенный привнос загрязняющих веществ и накопление их в почвах селитебной территории.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

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).

Authors' contribution. 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 writing of the article, read and approved the final version before publication).

Финансирование исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке Тихоокеанского государственного университета (НИР 2.22-ТОГУ).

Funding sources. This work was supported by the Pacific National University (research project 2.22-PNU).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликтов интересов, о которых необходимо сообщить.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles // *Environmental Pollution*. 1999. Vol. 105, N 1. P. 67–74. doi: 10.1016/S0269-7491(98)00207-3
2. Чикидова А.Л. Полициклические ароматические углеводороды в экосистемах г. Москвы (на примере Восточного административного округа): дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2017. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30442121>
3. Yu H., Li T., Liu Y., Ma L. Spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in urban soil of China // *Chemosphere*. 2019. Vol. 230. P. 498–509. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.006
4. Essumang D.K., Doodoo D.K., Obiri S., Oduro A.K. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in street soil dust in Kumasi metropolis of Ghana // *Environ Monit Assess*. 2006. Vol. 121, N 1-3. P. 401–408. doi: 10.1007/s10661-005-9137-x
5. Шамилишвили Г.А., Абакумов Е.В., Габов Д.Н., Алексеев И.И. Особенности фракционного состава полициклических ароматических углеводородов и полиэлементного загрязнения почв урбанизированных территорий и их гигиеническая характеристика (на примере почв функциональных зон Санкт-Петербурга) // *Гигиена и санитария*. 2016. Т. 95, № 9. С. 827–837. doi: 10.1882/0016-9900-2016-9-827-837
6. Агапкина Г.И., Чиков П.А., Шелепчиков А.А., и др. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Москвы // *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2007. № 3. С. 38–47.
7. Амирова З.К., Белан Л.Н., Валиуллина А.У., и др. Мониторинг стойких органических соединений и полиароматических углеводородов в почвах индустриального, рекреационного и селитебного назначения города Уфы // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015. Т. 17, № 5. С. 9–15.
8. Кухарчик Т.И., Хомич В.С., Какарека С.В., и др. Загрязнение почв урбанизированных территорий Белоруссии полициклическими ароматическими углеводородами // *Почвоведение*. 2013. № 2. С. 163. doi: 10.7868/S0032180X13020093
9. Бигалиев А.Б., Синтюрина А.В., Бияшева З.М. К вопросу о патогенном действии бензапирена, как загрязнителя окружающей среды (обзор) // *Вестник КазНУ. Серия экологическая*. 2009. Т. 24, № 1. С. 14–21.
10. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 3 «Об утверждении «Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями на 26 июня 2021 года). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8>

11. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>
12. Головкин В.В., Зубарев Р.С., Чижевская М.В. Анализ динамики химического загрязнения почв Красноярского края (2000–2009 гг.) // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2011. Т. 1, № 7. С. 230–231.
13. Айдинов Г.Т., Марченко Б.И., Дерябкина Л.А., Синельникова Ю.А. Химическое загрязнение почв города Таганрога как фактор риска для здоровья населения // Анализ риска здоровью. 2017. № 1. С. 13–20.
14. Кошелева Н.Е., Цыхман А.Г. Пространственно-временные тренды и факторы загрязнения почвенного покрова Москвы // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26, № 2. С. 207–236. doi: 10.22363/2313-2310-2018-26-2-207-236
15. Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Timofeev I.V., et al. Benzo[a]pyrene in Moscow road dust: pollution levels and health risks // Environ Geochem Health. 2023. N 45. P. 1669–1694. doi: 10.1007/s10653-022-01287-9
16. Касимов Н.С., Безбердая Л.А., Власов Д.В., Лычагин М.Ю. Металлы, металлоиды и бенз(а)пирен в микрочастицах почв и дорожной пыли Алушты // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1524–1538. doi: 10.1134/S0032180X19120062
17. Bezberdaya L., Kosheleva N., Chernitsova O., et al. Pollution level, partition and spatial distribution of benzo(a)pyrene in urban soils, road dust and their PM10 fraction of health-resorts (Alushta, Yalta) and industrial (sebastopol) cities of Crimea // Water. 2022. Vol. 14, N 4. P. 561. doi: 10.3390/w14040561
18. Kasimov N.S., Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Vlasov D.V. Benzo(a)pyrene in urban environment of Eastern Moscow: pollution levels and critical loads // Atmos Chem Phys. 2016. Vol. 17, N 3. P. 2217–2227. doi: 10.5194/acp-17-2217-2017
19. Костылева Н.В., Рачёва Н.Л. Характеристики загрязняющих веществ из раздела «III. Для почв» «Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 г. № 1316-р: справочник. Пермь : ФГБУ УралНИИ «Экология», 2017.
20. Филиппов С.П., Павлов П.П., Кейко А.В., и др. Экспериментальное определение выбросов сажи и ПАУ котельными и домовыми печами // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2000. № 3. С. 107–117.
21. Кошельков А.М., Майорова Л.П., Кузнецова А.А. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв Ванино-Токинской агломерации. В кн.: Философия современного природопользования в бассейне реки Амур : материалы XI научно-практической конференции с международным участием, Хабаровск, 28 апреля 2022 г. Хабаровск : Издательство ТОГУ, 2022. Вып. 11. С. 64–69.
22. Кошельков А.М., Матюшкина Л.А. Оценка химического загрязнения почв водоохранных зон малых рек города Хабаровска // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 2. С. 76–85. doi: 10.31433/1605-220X-2018-21-2-76-85
23. Дерябкина Л.А., Марченко Б.И., Тарасенко К.С. Оценка канцерогенного риска, обусловленного повышенным содержанием 3,4-бенз(а)пирена в почве промышленного города // Анализ риска здоровью. 2022. № 1. С. 27–35. doi: 10.21668/health.risk/2022.1.03
24. Околелова А.А., Мерзлякова А.С., Кожевникова В.П. Содержание бензапирена в почвенном покрове нефтеперерабатывающего предприятия // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2015. № 3 (выпуск 30). С. 111–116.
25. Каверина Н.В. Загрязнение бенз(а)пиреном почв города Воронежа // Экология урбанизированных территорий. 2020. № 3. С. 33–38. doi: 10.24412/1816-1863-2020-13033

REFERENCES

1. Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles. *Environmental Pollution*. 1999;105(1):67–74. doi: 10.1016/S0269-7491(98)00207-3
2. Chikidova A.L. *Policiklicheskie aromatcheskie uglevodorody v jekosistemah g. Moskvy (na primere Vostochnogo administrativnogo okruga)* [dissertation]. Moscow; 2017. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30442121> (In Russ).
3. Yu H, Li T, Liu Y, Ma L. Spatial distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in urban soil of China. *Chemosphere*. 2019;230:498–509. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.006
4. Essumang DK, Dadoo DK, Obiri S, Oduro AK. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in street soil dust in Kumasi metropolis of Ghana. *Environ Monit Assess*. 2006; 121(1-3):401–408. doi: 10.1007/s10661-005-9137-x
5. Shamilishvili GA, Abakumov EV, Gabov DN, Alexeev II. Features of fractional composition of polycyclic aromatic hydrocarbons and multielement contamination of soils of urban territories and their hygienic characteristics (on the example of soils of functional zones of Saint-Petersburg). *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*. 2016;95(9):827–837. (In Russ). doi: 10.1882/0016-9900-2016-9-827-837
6. Agapkina GI, Chikov PA, Shelepchikov AA, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Moscow-city. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2007;(3):38–47. (In Russ).
7. Amirova Z, Belan L, Valiullina A, et al. Monitoring of persistent organic compounds and polyaromatic hydrocarbons in the soils of industrial, recreational and residential areas of Ufa city. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2015;17(5):9–15. (In Russ).
8. Kukharchyk TI, Khomich VS, Kakareka SV, et al. Contamination of soils in the urbanized areas of Belarus with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Eurasian Soil Science*. 2013;46(2):145–152. (In Russ). doi: 10.7868/S0032180X13020093
9. Bigaliev AB, Sintjulina AV, Bijasheva ZM. K voprosu o patogennom dejstvii benzapirena, kak zagriznitelja okružhajushhej sredy (obzor). *Eurasian Journal of Ecology*. 2009;24(1):14–21. (In Russ).
10. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 28.01.2021 N 3 «Ob utverzhdenii

- «Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями на 26 июня 2021 года). Available from: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8> (In Russ).
11. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 28.01.2021 N 2 «Ob utverzhdenii sanitarnyh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredy obitaniya». Available from: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (In Russ).
 12. Golovkov VV, Zubarev RS, Chizhevskaja MV. Analiz dinamiki himicheskogo zagrizneniya pochv Krasnojarskogo kraja (2000–2009 gg.). *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*. 2011;1(7):230–231. (In Russ).
 13. Aydinov GT, Marchenko BI, Deryabkina LA, Sinelnikova YuA. Chemical soil pollution in Taganrog as population health risk factors. *Health Risk Analysis*. 2017;1(1):13–20. (In Russ).
 14. Kosheleva NE, Tsykhman AG. Spatial-temporal trends and factors of soil cover pollution in Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2018;26(2):207–236. (In Russ). doi: 10.22363/2313-2310-2018-26-2-207-236
 15. Kosheleva NE, Vlasov DV, Timofeev IV, et al. Benzo[a]pyrene in Moscow road dust: pollution levels and health risks. *Environ Geochem Health*. 2023;45(4):1669–1694. doi: 10.1007/s10653-022-01287-9
 16. Kasimov NS, Bezberdaya LA, Vlasov DV, Lychagin MY. Metals, metalloids, and benzo[a]pyrene in pm10 particles of soils and road dust of Alushta city. *Eurasian Soil Science*. 2019;52(12):1608–1621. (In Russ). doi: 10.1007/s10653-022-01287-9
 17. Bezberdaya L, Kosheleva N, Chernitsova O, et al. Pollution level, partition and spatial distribution of benzo(a)pyrene in urban soils, road dust and their PM10 fraction of health-resorts (Alushta, Yalta) and industrial (sebastopol) cities of Crimea. *Water*. 2022;14(4):561. doi: 10.3390/w14040561
 18. Kasimov NS, Nikiforova EM, Kosheleva NE, Vlasov DV. Benzo(a)pyrene in urban environment of Eastern Moscow: pollution levels and critical loads. *Atmos Chem Phys*. 2016. Vol. 17, N 3. P. 2217–2227. doi: doi.org/10.5194/acp-17-2217-2017
 19. Kostyleva NV, Rachjova NL. *Harakteristiki zagriznjajushhih veshhestv iz razdela «III. Dlja pochv» «Perechnja zagriznjajushhih veshhestv, v otnoshenii kotoryh primenajutsja mery gosudarstvennogo regulirovaniya v oblasti ohrany okruzhajushhej sredy», utverzhdennoho rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 08.07.2015 g. № 1316-r: spravochnik*. Perm': FGBU UralNII «Jekologija»; 2017. (In Russ).
 20. Filippov SP, Pavlov PP, Keiko AV, et al. Experimental determination of soot and PAH emissions from boiler and house furnaces. *Proceedings of the Academy of Sciences. Power Engineering*. 2000;(3):107–117. (In Russ).
 21. Koshelkov AM, Mayorova LP, Kuznetsova AA. Evaluation of the level of heavy metal pollution of soils in the Vanino-Tokino agglomeration. In: *Philosophy of modern environmental management in the Amur River basin: proceedings of the XI scientific and practical conference with international participation*. Khabarovsk, 28 April 2022; Khabarovsk: Togu Publishing House; 2022. Issue 11. P. 64–69.
 22. Koshelkov AM, Matyushkina LA. Assessment of chemical soil contamination in the Khabarovsk small rivers water protection zones. *Regional Problems*. 2018;21(2):76–85. (In Russ). doi: 10.31433/1605-220X-2018-21-2-76-85
 23. Deryabkina LA, Marchenko BI, Tarasenko KS. Assessment of carcinogenic risk caused by elevated 3.4-benzo(a)perene concentrations in soils in an industrial city. *Health Risk Analysis*. 2022;1(1):27–35. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2022.1.03
 24. Okolelova AA, Marzliakova AS, Kozhevnikova VP. Content of benzpyrene in soil layer of a petroleum refine plant. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Estestvennyye nauki*. 2015;(3 issue 30):111–116. (In Russ).
 25. Kaverina NV. Soil contamination with benzo(a)pyrene in the Voronezh City. *Jekologija urbanizirovannyh territorij*. 2020;(3):33–38. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* Кошельков Антон Михайлович;

адрес: Россия, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1736-1016>;
eLibrary SPIN: 8540-9692;
e-mail: ecolog.dv@mail.ru

Майорова Людмила Петровна, д.х.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6326-982X>;
eLibrary SPIN: 5904-3031;
e-mail: 000318@pnu.edu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

* Anton M. Koshelkov;

address: 136 Tihookeanskaja street, 680035 Khabarovsk, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1736-1016>;
eLibrary SPIN: 8540-9692;
e-mail: ecolog.dv@mail.ru

Lyudmila P. Mayorova, Dr. Sci. (Chem.), professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6326-982X>;
eLibrary SPIN: 5904-3031;
e-mail: 000318@pnu.edu.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112524>

Роль антропогенных дерматотоксикантов в формировании угревой болезни у подростков

Е.Н. Пильник¹, Л.Е. Дерягина², В.Л. Рейнюк¹, А.О. Пятибрат³¹ Научно-клинический центр токсикологии имени академика С.Н. Голикова, Санкт-Петербург, Российская Федерация;² Московский университет имени В.Я. Кикотя, Москва, Российская Федерация;³ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. На фоне неснижающихся темпов урбанизации негативное влияние антропогенных токсических веществ на здоровье человека увеличивается с каждым годом.

Цель. Определить роль токсических металлов в формировании угревой болезни.

Материал и методы. В исследовании методом поперечных срезов обследовано 595 детей различных районов Подмоскovie, из них 301 подросток страдал угревой болезнью, 294 практически здоровых детей составили контрольную группу. В работе использовали также спектрометрические, цитогенетические, биохимические и иммунологические методы. Оценивали содержание эссенциальных и токсических микроэлементов в пробах волос подростков. Проводили микроядерный тест в клетках букального эпителия. Оценивали уровень тестостерона и иммунорегуляторный индекс. Прогностические алгоритмы строили с помощью дискриминантного анализа.

Результаты. Статистически значимое ($p < 0,01$) повышение концентрации свинца определялось у 23% подростков, страдающих угревой болезнью, кадмия — у 19% и ртути — у 20%, в то время как в контрольной группе это были 10, 5 и 8% соответственно. Среди больных угревой болезнью статистически значимое ($p < 0,01$) снижение концентрации селена определялось у 22% подростков, цинка — у 16% подростков, в то время как в контрольной группе — только у 6%. По результатам микроядерного теста признаки генетической нестабильности определялись у 42% подростков, страдающих угревой болезнью, и у 19% — в контрольной группе. Выявлена положительная корреляционная взаимосвязь генотоксических нарушений с концентрацией свинца и ртути в пробах волос подростков.

Заключение. Подростки с преимущественно интоксикационной этиологией угревой болезни характеризовались низкой концентрацией селена и цинка, высокой — ртути и свинца в пробах волос, а также увеличением количества микроядер в букальном эпителии. Для подростков с преимущественно гормональной этиологией угревой болезни характерны повышение уровня тестостерона и снижение иммунорегуляторного индекса. Построенные прогностические алгоритмы позволяют дифференцировать угревую болезнь у подростков по этиологическому фактору.

Ключевые слова: угревая болезнь; антропогенные токсиканты; подростки; биоэлементный статус; цитогенетика; кариопатология; генотоксичность.

Как цитировать:

Пильник Е.Н., Дерягина Л.Е., Рейнюк В.Л., Пятибрат А.О. Роль антропогенных дерматотоксикантов в формировании угревой болезни у подростков // Экология человека. 2023. Т. 30, № 3. С. 199–211. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112524>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112524>

The role of anthropogenic dermatotoxicants in the etiology of acne in adolescents

Elena N. Pilnik¹, Larisa E. Deryagina², Vladimir L. Reinyuk¹, Aleksandr O. Pyatibrat³

¹ Golikov Research Center of Toxicology, Saint Petersburg, Russian Federation;

² V.Ya. Kikot Moscow University, Moscow, Russian Federation;

³ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: As urbanization continues to increase, so do the detrimental impacts of anthropogenic toxic substances on human health.

AIM: to study the role of toxic elements in the etiology of acne in adolescents.

MATERIALS AND METHODS: In total, 595 adolescents from different settings of the Moscow region participated in a cross-sectional study. Of them, 301 had acne. The reference group consisted of 294 healthy and acne-free children. Spectrometric, cytogenetic, biochemical and immunological research methods were used in the study. Concentrations of essential and toxic trace elements in hair samples were estimated. A micronuclear test was performed in buccal epithelial cells. The testosterone level and the immunoregulatory index were assessed. Discriminant analysis was used for development of the algorithm to predict acne in adolescents.

RESULTS: Elevated concentrations of lead, cadmium and mercury were observed in 23% of adolescents with acne, respectively, while in the reference group the corresponding proportions were 10, 5 and 8% all $p < 0.01$). Decreased concentration of selenium and zinc were found in 22 and 16% of adolescents, respectively, compared to the 6% in the reference group ($p < 0.01$). Micronucleus test revealed signs of genetic instability in 42% of adolescents with acne vs 19% in the acne-free group. Positive correlations were observed between genotoxic disorders and hair concentrations of lead and mercury.

CONCLUSIONS: Low concentrations of selenium and zinc combined with high concentrations of mercury and lead in hair samples as well as with increased number of micronuclei in the buccal epithelium suggest predominantly toxic etiology of acne. Adolescents with a predominantly hormonal etiology of acne were characterized by an increase in testosterone levels and a decrease in the immunoregulatory index. Discriminant analysis allows classification of acne by predominant etiology.

Keywords: acne; anthropogenic toxicants; adolescents; bioelement status; cytogenetics, karyopathology; genotoxicity.

To cite this article:

Pilnik EN, Deryagina LE, Reinyuk VL, Pyatibrat AO. The role of anthropogenic dermatotoxicants in the etiology of acne in adolescents. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(3):199–211. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco112524>

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время в городах проживает 75% населения России, что существенно увеличивает антропогенное загрязнение атмосферы выбросами промышленных предприятий и выхлопами автотранспорта. К основным загрязнителям атмосферного воздуха в городах относят стойкие органические загрязнители, полициклические ароматические углеводороды, тяжёлые металлы и их соли [1–3]. Тяжёлые металлы — распространённые антропогенные экотоксиканты, обладающие кумулятивным эффектом. В городах с широким распространением тяжёлых металлов их поступление в организм обеспечивается преимущественно ингаляционным путём. Кожные покровы остро реагируют как на поступление в организм различных ксенобиотиков, так и на их продукты метаболизма, в том числе токсичные металлы, поэтому покровные органы считаются одним из индикаторов экологического благополучия окружающей среды [4–6].

В связи с перестройкой гуморальной регуляции при половом созревании у подростков наиболее остро проявляются кожные заболевания под влиянием токсичных металлов. Превалирование поступления над выведением металлополлютантов приводит к их аккумуляции в организме, вызывая при этом хроническую интоксикацию [7]. Самые токсичные металлополлютанты, среди которых наиболее часто встречаются кадмий, свинец и ртуть, не участвуют в нормальном метаболизме и обладают нейротоксическим, дерматотоксическим и генотоксическим эффектом [8–10]. Максимально информативным методом оценки уровня накопления металлов в организме является определение их содержания в волосах [11, 12].

В связи с формированием регуляторных функций и нейрогуморальными перестройками растущего организма дети и подростки наиболее чувствительны к воздействию токсикантов, при этом кожные покровы максимально остро реагируют на интоксикацию организма различными ксенобиотиками и необычными продуктами метаболизма, в том числе тяжёлыми металлами, поэтому покровные органы считаются индикатором экологического благополучия окружающей среды [6]. Учитывая, что угревая болезнь — самая распространённая патология кожи

у подростков, оценка вовлечения в её патогенез антропогенных экотоксикантов безусловно актуальна.

Цель. Определить критерии преимущественно токсикологического механизма формирования угревой болезни.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для оценки влияния антропогенных экодерматотоксикантов на формирование угревой болезни у подростков проведён сравнительный анализ элементного состава волос 595 детей, проживающих в различных районах Подмосковья. Исследование выполнено методом поперечных срезов. Группы подростков сформированы из здоровых детей, не принимавших продолжительно лекарственных препаратов минимум за 3 мес до исследования (табл. 1).

Анализ проводили с участием подростков — жителей трёх подмосковных районов: Химкинского, Подольского и Одинцовского. Обследуемые подростки из Химкинского района в основном были представлены жителями Новокуркино и жилого комплекса Юбилейный. Основные загрязнения атмосферы этого района происходят за счёт цементной пыли активно ведущегося строительства, оксида углерода, паров растворителей, токсичных продуктов полного и неполного сгорания топлива автомобилей, двигающихся по расположенной рядом кольцевой автодороге. Кроме того, на загрязнение атмосферы оказывает влияние полигон твёрдых бытовых отходов «Долгопрудненский».

В Подольском районе обследуемые в основном были представлены жителями наукограда Троицк. К источникам экотоксикантов в этом районе, загрязняющим атмосферный воздух, относятся выбросы вредных веществ от предприятий и автотранспорта, а также полигоны птицефабрик.

Наиболее благополучным в экологическом аспекте был Одинцовский район, где большинство обследуемых подростков в основном проживают в городе Власихе. Источники экотоксикантов в данном районе представлены по большей части автотранспортом. В то же время все рассматриваемые районы отличаются более благополучной экологической обстановкой, чем спальные и промышленные районы Москвы.

Таблица 1. Распределение обследуемых подростков по месту жительства

Table 1. Distribution of the study participants by place of residence

Район District	Угревая болезнь Acne				Контрольная группа Acne-free			
	Мальчики, лет Boys, years		Девочки, лет Girls, years		Мальчики, лет Boys, years		Девочки, лет Girls, years	
	13–14	15–17	13–14	15–17	13–14	15–17	13–14	15–17
Одинцовский Odintsovo district, n=104/91	24	28	21	31	21	22	24	24
Подольский Podolsk district, n=97/101	26	21	24	26	25	26	28	22
Химки Khimky district, n=100/102	21	26	26	27	23	25	22	32

Степень тяжести акне оценивали с помощью дерматологического индекса акне (ДИА), который подсчитывали по сумме баллов, отражающих число воспалительных и невоспалительных высыпных элементов: до 5 — лёгкая степень, от 6 до 10 — средняя и от 10 до 15 — тяжёлая степень акне.

Отбор и обработку проб волос осуществляли в соответствии с методическими указаниями Роспотребнадзора [13]. Химические элементы в образцах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Shimadzu (Япония). Из исследования исключали подростков, страдающих себореей и применяющих цинк- и селенсодержащие шампуни.

Для оценки генотоксических эффектов у каждого обследованного подростка анализировали по 1000 клеток буккального эпителия. Изготовление микропрепаратов осуществляли по общепринятой методике, модифицированной С.Б. Мельновым [5], на препаратах учитывали отношение количества микроядер к общему числу ядро-содержащих клеток (в промилле, ‰). Окраску материала проводили водным раствором азур-эозина по Романовскому–Гимзе (1:5).

Исследование иммунного и гуморального статусов проводили в соответствии с приказом Министерства здравоохранения РФ от 10 августа 2017 г. № 514н «О порядке проведения профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних». Анализируемые карточки представлены поликлиническими отделениями и школьными медицинскими кабинетами некоторых учреждений Московской области. Забор крови выполняли в районной поликлинике по направлению врача-дерматолога или участкового педиатра. Концентрацию тестостерона в венозной крови определяли с помощью иммуноферментного анализа, используя наборы реагентов (ООО «Алкор Био», Россия). Показатели клеточного иммунитета (CD3, CD4, CD8, CD16, CD72, CD19) определяли иммунофлуоресцентным методом с помощью проточного цитофлуориметра, далее рассчитывали иммунорегуляторный индекс (ИРИ).

Работа одобрена независимым этическим комитетом, созданным на базе Научно-клинического центра токсикологии имени академика С.Н. Голикова ФМБА России в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием людей» (2013). Информированное согласие получено от всех пациентов в возрасте свыше 15 лет и от родителей пациентов, не достигших 15-летнего возраста, согласно Федеральному закону «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан» (2011).

Статистический анализ результатов выполнен с использованием пакета прикладных лицензионных программ Microsoft Office 2010, Statistica for Windows 10.0, 2011 (StatSoft Inc., США). По всем исследуемым показателям рассчитана нормальность распределения их значений в выборочных совокупностях с помощью критерия

Колмогорова–Смирнова. Полученные результаты указывали на нормальное распределение исследуемых показателей, что послужило основанием использования параметрических методов статистики. Результаты представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения $M \pm SD$. При сравнении групп использовали t -критерий Стьюдента для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Для выявления взаимосвязи между исследуемыми параметрами применяли корреляционный анализ Пирсона.

Полученные взаимосвязи послужили основанием разработки алгоритма, позволяющего дифференцировать различные механизмы формирования угревой болезни. Для достижения этой цели использовали дискриминантный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За счёт способности волос депонировать химические элементы анализ их микроэлементного состава используют в качестве индикатора антропогенных загрязнений территорий тяжёлыми металлами и другими токсичными элементами. Результаты анализа микроэлементного состава волос подростков свидетельствуют, что в большинстве наблюдений средние величины концентрации жизненно необходимых химических элементов не выходили за пределы референсных значений и не имели значимых различий в зависимости от района проживания и наличия угревой болезни (табл. 2).

В то же время обращают на себя внимание низкие показатели цинка и селена (табл. 3). У большинства подростков Химкинского и Подольского районов, страдающих угревой болезнью, концентрации селена и цинка были ниже референсных значений и статистически значимо ниже значений у подростков, проживающих в аналогичных районах контрольной группы, а также в отношении жителей Одинцовского района.

Результаты анализа микроэлементного состава волос у девочек-подростков свидетельствуют о не выходящих за пределы референсных значений средних величинах концентраций эссенциальных химических элементов в пробах волос, также эти показатели статистически не отличались в зависимости от района проживания и наличия угревой болезни. При этом у девочек, страдающих угревой болезнью, особенно из Химкинского и Подольского районов, отмечались низкие концентрации цинка и селена (ниже референсных значений, а также статистически значимо ниже относительно подростков контрольной группы, проживающих в аналогичных районах, и в отношении жителей Одинцовского района).

Анализ содержания токсичных химических элементов в пробах волос обследованных мальчиков свидетельствует, что концентрации большей части анализируемых элементов находились в границах референсных значений. Однако ряд микроэлементов демонстрировали

Таблица 2. Концентрация микроэлементов в пробах волос подростков Подмоскovie, мкг/г (M±SD)**Table 2.** Hair concentrations of microelements in adolescents in the Moscow region, mkg/g (M±SD)

Микроэлементы Microelements	Показатель		Референсные значения	
	Мальчики Boys	Девочки Girls	Мальчики Boys	Девочки Girls
Эссенциальные микроэлементы Essential microelements				
Кальций (Ca)	390,1±110,3	436,8±112,5	266–503	341–702
Калий (K)	362,78±98,60	279,5±81,6		50–660
Магний (Mg)	30,5±18,4	40,6±9,8	16–36	22–54
Фосфор (P)	142,4±118,4	147,75±42,60		83–165
Стронций (Sr)	2,9±1,3	3,1±1,5		0,5–5,0
Медь (Cu)	11,2±1,2	10,1±1,4		8–15
Железо (Fe)	21,65±5,40	24,0±8,3		10–25
Марганец (Mn)	0,5±0,4	0,5±0,3		0,1–1,0
Кобальт (Co)	0,1±0,1	0,1±0,1		0,01–0,50
Хром (Cr)	1,1±0,4	0,9±0,2		0,1–2,0
Токсические микроэлементы Toxic microelements				
Алюминий (Al)	9,2±5,9	8,2±6,1		≤10,0
Мышьяк (As)	0,12±0,07	0,15±0,08		≤0,10
Никель (Ni)	1,7±0,6	1,3±0,7		≤2,0

Таблица 3. Концентрация химических элементов в пробах волос подростков, мкг/г (M±SD)**Table 3.** Hair concentrations of chemical elements in adolescents in the Moscow region, mkg/g (M±SD)

Химические элементы Chemical elements	Угревая болезнь Acne			Контрольная группа Acne-free		
	Одинцовский район Odintsovo district	Подольский район Podolsk district	Химкинский район Khimky district	Одинцовский район Odintsovo district	Подольский район Podolsk district	Химкинский район Khimky district
Мальчики, эссенциальные химические элементы / Boys, essential elements						
Селен (Se)	0,7±0,2*	0,4±0,1 [#]	0,5±0,1*	1,3±0,2	0,8±0,3 [#]	1,1±0,3
Цинк (Zn)	156,4±15,3*	122,4±12,4 [#]	128,6±10,2 [#]	172,5±16,4	147,2±13,4 [#]	139,3±19,7 [#]
Мальчики, токсические химические элементы / Boys, toxic elements						
Свинец (Pb)	2,1±0,4	3,8±1,2 [#]	5,3±1,5 [#]	1,8±0,6	3,4±1,3 [#]	4,2±1,5 [#]
Кадмий (Cd)	0,19±0,05*	0,32±0,09 [#]	0,37±0,12 [#]	0,12±0,06	0,16±0,07	0,29±0,11 [#]
Ртуть (Hg)	2,1±0,3*	4,2±0,5 [#]	3,9±0,4 [#]	1,2±0,8	3,4±1,2 [#]	3,1±0,7 [#]
Девочки, эссенциальные химические элементы / Girls, essential elements						
Селен (Se)	0,9±0,2*	0,3±0,1 [#]	0,4±0,1 [#]	1,4±0,1	1,1±0,2	1,0±0,2
Цинк (Zn)	134,0±6,1*	94,1±12,6 [#]	112,8±17,2 [#]	197,5±18,1	164,3±15,2 [#]	151,3±14,6 [#]
Девочки, токсические химические элементы / Girls, toxic elements						
Свинец (Pb)	1,8±0,5*	3,4±1,1 [#]	4,7±1,4 [#]	1,1±0,4	1,9±0,8 [#]	3,1±1,3 [#]
Кадмий (Cd)	0,14±0,07	0,36±0,03 [#]	0,39±0,08 [#]	0,11±0,03	0,25±0,06 [#]	0,31±0,09 [#]
Ртуть (Hg)	2,4±0,5*	3,2±1,2*	3,1±0,7*	1,4±0,4	2,7±0,6	2,5±0,8

* различия относительно контрольной группы аналогичного района, $p < 0,01$; [#] относительно Одинцовского района в аналогичной группе; $p < 0,01$.

* compared to the acne-free group in the same district, $p < 0,01$; [#] compared to the Odintsovo district in the corresponding group; $p < 0,01$.

статистически значимые различия концентраций в пробах волос подростков в зависимости от района проживания.

Тем не менее средние величины концентрации свинца, ртути и кадмия превышали референсные значения у мальчиков-подростков — жителей Химкинского и Подольского районов. Концентрации этих элементов были также статистически значимо выше относительно обеих аналогичных групп мальчиков, проживающих в Одинцовском районе, и относительно контрольных групп из аналогичных районов.

Обследованные девочки характеризовались повышением концентрации ряда токсичных химических элементов в пробах волос. Средние величины показателей концентрации свинца, ртути и кадмия были выше референсных значений в группах, проживающих в Подольском и Химкинском районах: как у страдающих угревой болезнью, так и у практических здоровых школьников. Статистически более высокие концентрации этих химических элементов определялись у девочек-подростков и относительно аналогичных групп жителей Одинцовского района, а у страдающих угревой болезнью эти показатели были статистически значимо выше, чем в контрольных группах аналогичных районов.

Результаты анализа микроэлементного статуса подростков из Подмосковья, страдающих и не страдающих угревой болезнью, свидетельствуют, что формирование угревой болезни связано с влиянием экотоксикантов, которое определяется повышением концентрации свинца, ртути, кадмия и снижением — селена и цинка.

Оценку скрытой генетической нестабильности проводили с помощью микроядерного теста, основанного на подсчёте микроядер, образующихся из хромосомных фрагментов или целых хромосом, которые не включились в состав ядра в ходе митоза из-за отсутствия центромеры

или повреждения волокон веретена деления или самой центромеры [5]. Отношение количества микроядер к общему числу ядросодержащих клеток выражали в промилле (‰), данные микроядерного теста представлены в табл. 4. Из 595 обследованных школьников признаки генетической нестабильности определялись у 128 подростков, страдающих угревой болезнью, и у 55 подростков контрольной группы, что составило 42 и 19% соответственно. Стоит отметить, что признаки генетической нестабильности в 2–3 чаще встречались у подростков Химкинского и Подольского районов, менее благоприятных в экологическом аспекте, чем посёлок Власиха Одинцовского района.

Результаты анализа количества клеток с микроядрами на 1000 клеток буккального эпителия свидетельствуют, что все проживающие в Подольском и Химкинском районах подростки независимо от пола, возраста и наличия угревой болезни характеризовались статистически значимо более высоким количеством клеток с микроядрами. Все подростки, страдающие акне, демонстрировали статистически значимо более высокое количество клеток с микроядрами в буккальном эпителии. Представленные данные демонстрируют более частые проявления генетической нестабильности в Подольском и Химкинском районах, а также у подростков, страдающих угревой болезнью. За признак генетической нестабильности принимали увеличение количества клеток с микроядрами более 30 на тысячу клеток буккального эпителия [5].

Подростки, страдающие угревой болезнью, в большей степени, чем контрольная группа, демонстрировали признаки генетической нестабильности: в Одинцовском районе — 29,1 и 21,3% мальчиков разных возрастных

Таблица 4. Показатели микроядерного теста клеток буккального эпителия у подростков, проживающих в различных районах Подмосковья, ‰ (M±SD)

Table 4. Results of the micronuclear test of the buccal epithelial cells in adolescents in the Moscow region, ‰ (M±SD)

Группы Groups		Возраст, лет Age, years	Район District		
			Одинцовский Odintsovo	Подольский Podolsk	Химкинский Khimky
Угревая болезнь Acne	Мальчики Boys	13–14	28,7±8,7*	48,4±9,3*#	52,1±11,5*#
		15–17	32,5±6,2*	51,7±8,4*#	63,8±12,3*#
	Девочки Girls	13–14	27,4±9,6*	52,3±8,4*#	57,8±14,2*#
		15–17	28,3±7,1*	56,5±12,5*#	69,2±16,1*#
Контрольная группа Acne-free	Мальчики Boys	13–14	15,4±8,5	33,5±7,6#	29,2±11,5#
		15–17	19,7±6,9	34,2±8,4#	31,4±7,8#
	Девочки Girls	13–14	18,6±7,2	33,8±9,8#	32,6±11,3#
		15–17	21,2±9,2	36,1±11,6#	34,7±7,9#

* различия относительно контрольной группы аналогичного района; # относительно Одинцовского района в аналогичной группе; $p < 0,01$.

* compared to the acne-free group in the same district, $p < 0.01$; # compared to the Odintsovo district in the corresponding group; $p < 0.01$.

Таблица 5. Количество подростков с признаками генетической нестабильности и без кариопатологии, *n***Table 5.** Number of adolescents with signs of genetic instability and without kariopathy, *n*

Пол Gender	Группа, возраст, лет Group, age, gender							
	Генотоксические эффекты Genotoxic effects				Без генотоксических эффектов No genotoxic effects			
	Угревая болезнь Acne (<i>n</i> =128)		Контрольная группа Acne-free (<i>n</i> =55)		Угревая болезнь Acne (<i>n</i> =172)		Контрольная группа Acne-free (<i>n</i> =238)	
	13–14	15–17	13–14	15–17	13–14	15–17	13–14	15–17
Мальчики Boys	32	28	10	12	39	47	59	61
Девочки Girls	31	38	16	17	40	46	57	61

групп, 24,8 и 32,2% девочек. В Химкинском и Подольском районах подростки с признаками кариопатологии среди больных акне встречались чаще, чем в Одинцовском, они составляли приблизительно половину во всех половых и возрастных подгруппах подростков, страдающих угревой болезнью.

На втором этапе исследования по результатам микроядерного теста подростки, страдающие угревой болезнью, были разделены на 2 группы: 1-я — подростки с признаками генетической нестабильности в клетках букального эпителия, у которых наблюдались генотоксические эффекты; 2-я — подростки без выраженных признаков генетической нестабильности (табл. 5). Распределение подростков этих двух групп по степени тяжести угревой болезни с помощью ДИА представлено в табл. 6. Анализ данных ДИА свидетельствует о более тяжёлом течении акне у подростков с более высокими показателями кариопатологии.

Далее анализировали показатели микроэлементов, микроядерного теста, тестостерона и ИРИ в зависимости от выраженности кариопатологии у мальчиков (табл. 7). Количество микроядер у мальчиков в группах с признаками генетической нестабильности оказалось почти в два раза выше, чем у подростков с угревой болезнью без кариопатологии. У мальчиков, страдающих угревой болезнью с признаками генетической нестабильности, концентрации свинца и ртути были в два раза выше, а концентрация селена — на 35% ниже, чем у мальчиков с угревой болезнью без кариопатологии. Показатели

тестостерона также были статистически значимо (почти в два раза) выше в группе без признаков генотоксичности. При этом показатели ИРИ были статистически значимо выше в группе мальчиков с признаками генотоксичности (см. табл. 7).

Похожие изменения наблюдались и среди девочек: отмечено в два раза большее количество микроядер в группе с признаками генетической нестабильности, чем у подростков с угревой болезнью без кариопатологии. Показатели микроэлементов, микроядерного теста, тестостерона и ИРИ в зависимости от кариопатологии у девочек представлены в табл. 8. В группе девочек с признаками генетической нестабильности концентрации свинца были в два раза, а ртути — в полтора раза выше. При этом концентрация селена в пробах волос у этих девочек была в 3 раза меньше. У девочек с признаками генетической нестабильности концентрация тестостерона в крови была значимо ниже, чем в группе без признаков генотоксичности. В то же время ИРИ был статистически значимо выше в группе девочек с признаками генотоксичности (см. табл. 7).

Анализ концентрации микроэлементов в пробах волос, результатов микроядерного теста, показателей гуморальной регуляции гонадотропных гормонов и иммунного статуса у подростков, страдающих угревой болезнью, показал, что из всех показателей, используемых в исследовании, для определения характеристик механизмов формирования угревой болезни можно использовать следующие:

Таблица 6. Распределение подростков по степени тяжести угревой болезни с помощью дерматологического индекса акне, %**Table 6.** Distribution of adolescents across the severity of acne, %

Пол Gender	Лёгкая степень Light				Средняя степень Moderate				Тяжёлая степень Severe			
	Генотоксические эффекты Genotoxic effects		Без генотоксических эффектов No genotoxic effects		Генотоксические эффекты Genotoxic effects		Без генотоксических эффектов No genotoxic effects		Генотоксические эффекты Genotoxic effects		Без генотоксических эффектов No genotoxic effects	
	13–14	15–17	13–14	15–17	13–14	15–17	13–14	15–17	13–14	15–17	13–14	15–17
Мальчики Boys	21	18	35	25	55	65	53	67	24	17	12	7
Девочки Girls	14	24	22	38	65	59	68	51	21	17	10	11

Таблица 7. Показатели микроэлементов, микроядерного теста, тестостерона и иммунорегуляторного индекса в зависимости от кариопатологии у подростков, страдающих угревой болезнью, мкг/г ($M \pm SD$)

Table 7. Concentrations of microelements, results of micronuclear test, testosterone concentrations and immunoregulatory index by cariorhathy groups among adolescents with acne, mkg/kg ($M \pm SD$)

Показатели / Variables	Генотоксические эффекты Genotoxic effects	Без генотоксических эффектов No genotoxic effects	t-значение t-value
	Среднее / Mean	Среднее / Mean	
Мальчики Boys			
Селен, мкг/г Selenium, µg/g	0,45±0,11*	0,69±0,15	−10,7
Цинк, мкг/г Zincum, µg/g	127,82±10,22*	154,11±7,88	−16,8
Свинец, мкг/г Plumbum, µg/g	4,59±1,34*	2,07±0,25	14,3
Ртуть, мкг/г Hydrargyrum, µg/g	4,22±0,46*	2,10±,19	33,4
Микроядра Micronuclei, ‰	52,89±12,61*	30,01±6,33	13,0
Тестостерон, нмоль/л Testosterone, nmol/l	8,87±1,51*	13,88±4,0	9,3
Иммунорегуляторный индекс Immunoregulatory index	1,50±0,07*	12,95±0,84	−125,7
Девочки Girls			
Селен, мкг/г Selenium, µg/g	0,32±0,11*	0,90±0,13	−28,9
Цинк, мкг/г Zincum, µg/g	112,11±17,08*	130,90±7,98	−8,4
Свинец, мкг/г Plumbum, µg/g	4,28±1,14*	1,79±0,34	17,64
Ртуть, мкг/г Hydrargyrum, µg/g	3,90±0,52*	2,45±0,36	6,1
Микроядра Micronuclei, ‰	58,27±10,36*	30,82±7,87	18,3
Тестостерон, нмоль/л Testosterone, nmol/l	9,28±0,92*	13,91±3,49	10,7
Иммунорегуляторный индекс Immunoregulatory index	1,50±0,07*	1,30±0,08	15,5

* различия относительно группы без генотоксических эффектов, $p < 0,0001$.

* compared to the group with no genotoxic effects, $p < 0.0001$.

- концентрацию жизненно необходимых микроэлементов селена (Se) и цинка (Zn);
- концентрацию токсических микроэлементов свинца (Pb) и ртути (Hg);
- количество микроядер в клетках буккального эпителия;
- концентрацию тестостерона;
- значение ИРИ.

С помощью корреляционного анализа отобраны (см. табл. 8), а с помощью дискриминантного (лямбда Уилкса) — уточнены наиболее информативные показатели (табл. 9).

Данные, полученные у наблюдаемых мальчиков с помощью корреляционного анализа показателей микроэлементов, количества микроядер, уровня тестостерона и ИРИ, свидетельствуют о сильных положительных корреляционных связях между количеством микроядер и концентрацией свинца в пробе волос, а также ИРИ. Сильные отрицательные связи определялись между концентрацией селена, свинца и количеством микроядер. Также сильная отрицательная корреляционная связь определялась между ИРИ и концентрацией селена.

Для девочек характерно наличие сильных положительных корреляционных связей между концентрацией в пробах волос ртути, свинца и количеством микроядер, а также между ИРИ, концентрациями цинка, селена и уровнем тестостерона. Сильные отрицательные корреляционные связи наблюдались между концентрациями ртути и цинка, свинца, а также уровнем тестостерона (см. табл. 8).

С помощью корреляционного анализа отобраны показатели, демонстрирующие наиболее сильные корреляционные связи. Полученные взаимосвязи послужили основанием разработки алгоритма, позволяющего дифференцировать различные механизмы формирования угревой болезни. Для достижения этой цели использовался дискриминантный анализ.

Результаты исследования, в частности анализ корреляций между различными механизмами формирования угревой болезни и некоторыми показателями токсикологического, цитогенетического, гормонального и иммунного статуса, позволили подойти к решению задачи формализации процедуры дифференциации изучаемых групп по механизмам формирования угревой болезни

Таблица 8. Корреляционные взаимосвязи показателей микроядерного теста, концентрации микроэлементов и иммунного статуса подростков, страдающих угревой болезнью**Table 8.** Correlations between micronuclei test results, hair microelements concentrations and immune status of adolescents with acne

Показатели Variables	Селен Se	Цинк Zn	Свинец Pb	Ртуть Hg	Микроядра Micronuclei	Тестостерон Testosterone	ИРИ IRI
Девочки Girls							
Селен (Se)	1,0	0,54	-0,74	-0,39	-0,78	-0,57	-0,68
Цинк (Zn)	0,54	1,0	-0,42	-0,25	-0,52	-0,33	-0,38
Свинец (Pb)	-0,74	-0,42	1,0	0,41	0,69	0,42	0,62
Ртуть (Hg)	-0,39	-0,25	0,41	1,0	0,33	0,27	0,26
Микроядра Micronuclei	-0,78	-0,52	0,69	0,33	1,0	0,39	0,63
Тестостерон Testosterone	-0,57	-0,33	0,42	0,27	0,39	1,0	0,38
Иммунорегуляторный индекс Immunoregulatory index	-0,68	-0,38	0,62	0,26	0,63	0,38	1,0
Мальчики Boys							
Селен (Se)	1,0	0,52	-0,47	-0,62	-0,51	0,49	0,65
Цинк (Zn)	0,52	1,0	-0,56	-0,77	-0,54	0,61	0,80
Свинец (Pb)	-0,47	-0,56	1,0	0,74	0,66	-0,56	-0,76
Ртуть (Hg)	-0,62	-0,77	0,74	1,0	0,71	-0,70	-0,93
Микроядра Micronuclei	-0,51	-0,54	0,66	0,71	1,0	-0,53	-0,73
Тестостерон Testosterone	0,49	0,61	-0,56	-0,70	-0,53	1,0	0,73
Иммунорегуляторный индекс Immunoregulatory index	0,65	0,80	-0,76	-0,93	-0,73	0,73	1,0

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции, $p < 0,05$.

Note: statistically significant correlations are in bold, $p < 0,05$.

с использованием комплекса высокоинформативных признаков.

Значения коэффициентов дискриминантной функции для девочек, страдающих угревой болезнью, представлены в табл. 9. В варианте расчёта дискриминантной функции информативность оказалась достаточно высокой — 75% ($p < 0,001$). В данном случае:

$$F(\text{tox}) = -1,46X_1 + 0,54X_2 + 3,88X_3 + 19,08X_4 + 0,81X_5 + 1,8X_6 + 235,45X_7 - 280,04 \text{ (для группы 1);}$$

$$F(\text{horm}) = 38,35X_1 + 0,61X_2 + 0,59X_3 + 16,14X_4 + 0,58X_5 + 1,14X_6 + 193,21X_7 - 218,71 \text{ (для группы 2),}$$

где $F(\text{tox})$ — преимущественно токсикологический механизм акне, $F(\text{horm})$ — преимущественно гуморальный механизм акне, $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ — переменные дискриминантной функции.

При $F(\text{tox}) > F(\text{horm})$ механизм формирования угревой болезни преимущественно токсикологический. Разработанные решающие правила дифференциации групп с использованием биохимических, иммунологических и цитогенетических методик обеспечивают точность прогноза более 75%.

Значения коэффициентов дискриминантной функции для мальчиков, страдающих угревой болезнью,

представлены в табл. 9. В варианте расчёта дискриминантной функции информативность оказалась также достаточно высокой — более 75% ($p < 0,001$). В данном случае:

$$F(\text{tox}) = 46,02X_1 + 1,73X_2 + 0,59X_3 + 29,04X_4 + 0,24X_5 + 2,64X_6 + 8,74X_7 - 215,84 \text{ (для группы 1);}$$

$$F(\text{horm}) = 71,36X_1 + 2,15X_2 - 1,29X_3 + 20,21X_4 + 0,15X_5 + 2,74X_6 + 47,14X_7 - 531,48 \text{ (для группы 2).}$$

При $F(\text{tox}) > F(\text{horm})$ можно отнести обследуемого к группе с преимущественно токсикологическими механизмами формирования угревой болезни.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа данных ДИА свидетельствуют, что подростки с признаками генетической нестабильности страдали угревой болезнью в тяжёлой форме в два раза чаще, чем подростки без признаков генотоксичности.

Таким образом, у определённой части подростков, страдающих угревой болезнью, пусковые механизмы её формирования связаны с повышением концентраций ртути, свинца, кадмия и снижением — селена и цинка.

Таблица 9. Значения коэффициентов дискриминантной функции для распознавания группы 1 (токсический механизм) и группы 2 (гормональный механизм) у девочек и мальчиков

Table 9. Discriminant function coefficients for differentiation between predominantly toxic acne and predominantly hormonal acne in boys and girls

Показатель Variable		Значение коэффициентов Coefficients	
		G_1:1	G_2:2
Девочки / Girls			
<i>p</i>		0,767	0,754
X1	Селен (Se), мкг/г	−1,46	38,35
X2	Цинк (Zn), мкг/г	0,54	0,61
X3	Свинец (Pb), мкг/г	3,88	0,59
X4	Ртуть (Hg), мкг/г	19,08	16,14
X5	Микроядра Micronuclei, ‰	0,81	0,58
X6	Тестостерон, нмоль/л Testosterone, nmol/l	1,80	1,14
X7	Иммунорегуляторный индекс Immunoregulatory index	235,45	193,21
Константа Intercept		−280,04	−218,71
Мальчики Boys			
<i>p</i>		0,785	0,812
X1	Селен (Se), мкг/г	46,02	71,36
X2	Цинк (Zn), мкг/г	1,73	2,15
X3	Свинец (Pb), мкг/г	0,59	−1,29
X4	Ртуть (Hg), мкг/г	29,04	20,21
X5	Микроядра Micronuclei, ‰	0,24	0,15
X6	Тестостерон, нмоль/л Testosterone, nmol/l	2,64	2,74
X7	Иммунорегуляторный индекс Immunoregulatory index	8,74	47,14
Константа Intercept		−215,849	−531,48

При этом течение угревой болезни более тяжёлое у подростков с выраженной генетической нестабильностью, определяемой повышением количества микроядер в булльном эпителии.

Результаты исследования свидетельствуют о наличии по крайней мере двух различных механизмов формирования угревой болезни. Первый, классический, механизм обусловлен превалированием влияния нарушений гуморальной регуляции гонадотропных гормонов в патогенезе акне, второй — преобладанием в патогенезе влияния дерматотоксичных металлополлютантов, поступающих в организм подростка в основном за счёт загрязнения атмосферного воздуха промышленными и транспортными выбросами.

Клиническая картина угревой болезни не всегда позволяет легко дифференцировать превалирующие механизмы формирования и течения заболевания, определение которых позволит использовать более эффективную патогенетическую терапию. Всё большее подтверждение находит мнение, что при антропогенном загрязнении

основной путь поступления в организм токсичных металлов — попадание промышленной пыли [3]. В настоящее время влияние высокой концентрации токсических металлов на функциональное состояние организма и здоровье населения крупных городов и промышленных центров недостаточно изучено, механизмы детоксикации токсических металлов также полностью не раскрыты. На сегодняшний день не вызывают сомнений два механизма: первый — обусловленный образованием нерастворимых комплексов и второй — кумуляция с иммобилизацией в соответственных критических органах, например накопление свинца в костной ткани. Этим объясняются полученные результаты настоящего исследования, свидетельствующие о преимущественном накоплении в пробах волос подростков токсичных металлов свинца, ртути и кадмия в районах с большей антропогенной нагрузкой, к которым относятся полигоны твёрдых бытовых отходов и крупные автомагистрали [1, 11, 14, 15].

Ключевым звеном патогенеза нарушений регуляции физиологических систем организма под влиянием

токсических металлов является нарушение механизмов реализации наследственной информации при прямом или опосредованном повреждении третичных структур хромосом и денатурации ДНК. Основные механизмы повреждения хромосом токсическими металлами обусловлены их прямым взаимодействием с ДНК, а также опосредованно, за счёт снижения активности ряда ферментов, в том числе и антиоксидантной системы, что приводит к накоплению свободнорадикальных форм кислорода, активирующих процессы перекисного окисления липидов и повреждения ДНК.

Наиболее отчётливо проявления повреждения наследственного аппарата клеток наблюдаются при проведении цитогенетического анализа. Например, в представленном исследовании наблюдалось статистически значимое увеличение количества клеток с микроядрами в буккальном эпителии подростков с более высокими показателями свинца, ртути и кадмия в пробах волос. При этом влияние токсических металлов на формирование угревой болезни обусловлено прежде всего ингибированием ряда ферментов в пилосебационных структурах кожного покрова, что приводит к активации фолликулярного гиперкератоза [5, 9, 16].

Свинец и ртуть по химическим особенностям относятся к тиоловым ядам за способность связываться с SH-группами аминокислот, с фосфатными группами рибозы, что вызывает разрушение РНК. Один из патогенных механизмов некоторых токсических металлов обусловлен конкурентным замещением эссенциальных металлов, связанных с белками ферментных систем. В настоящем исследовании отмечено снижение концентрации цинка и селена при повышении концентраций свинца и ртути, что совпадает с результатами ряда авторов [4, 10, 17, 18].

Формирование ряда патологических процессов, связанных с влиянием токсических металлов, обусловлено нарушением регуляции иммунной системы, причём наиболее выражены эти взаимосвязи в подростковом периоде. Например, в формирование угревой болезни вносит вклад снижение активности гуморального и повышение клеточного звена иммунитета посредством уменьшения антител, влияющих на рост пропионибактерий и увеличение продуктивного воспаления за счёт активации цитотоксических лимфоцитов и макрофагов [6, 17].

Таким образом, антропогенные токсиканты больших городов негативно влияют на организм подростков, часто усугубляя заболевания, связанные с пубертатным периодом полового развития, в том числе угревую болезнь. Результаты нашего исследования позволяют чётко дифференцировать этиологические факторы формирования угревой болезни, что позволит выбирать более эффективную тактику терапии и будет способствовать стойкой ремиссии, более быстрому выздоровлению и повышению качества жизни подростков.

Ограничение исследования заключается в конфаундинг-эффекте из-за невозможности полного разделения

влияния токсических металлополлютантов и пубертатных гормональных нарушений на формирование акне у подростков. Этот эффект проявляется во влиянии нескольких причинных факторов на формирование акне, что затрудняет отделение одного фактора от другого. Часто происходит суммирующий эффект. Стоит учитывать и индивидуальные особенности кожи, в частности пилосебационных структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подростки, страдающие угревой болезнью, как девочки, так и мальчики, характеризовались снижением концентрации жизненно необходимых микроэлементов — селена и цинка.

Среди подростков, страдающих угревой болезнью, повышение концентрации свинца наблюдалось статистически значимо чаще, чем в контрольной группе.

По результатам микроядерного теста признаки генетической нестабильности выявлялись статистически значимо чаще у подростков, страдающих угревой болезнью, чем у подростков контрольной группы. Оценка ранговой корреляции Спирмена свидетельствует о сильной взаимосвязи повышения количества клеток буккального эпителия с увеличенным количеством микроядер и концентрацией свинца и ртути в пробах волос подростков.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: Е.Н. Пильник — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание рукописи; Л.Е. Дерягина — концепция и дизайн исследования, общее руководство, редактирование рукописи; В.Л. Рейнюк, А.О. Пятибрат — концепция и дизайн исследования, общее руководство, окончательное редактирование представленной рукописи. 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).

Authors' contribution: E.N. Pilnik — study concept and design, data collection and data analysis, and writing the manuscript; L.E. Deryagina — study concept and design, general guidance, revision of the manuscript; V.L. Reinyuk, A.O. Pyatibrat — study concept and design, general guidance, final editing of the manuscript. 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).

Финансирование. Исследование проведено без финансовой поддержки.

Funding sources. No external funding.

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

Competing interests. The authors declare no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вертинский А.П. Проблемы загрязнения окружающей природной среды Российской Федерации тяжелыми металлами // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 1. С. 232–237.
2. Черняк Ю.И., Меринова А.П. Полиморфизм CYP3A генов и хроническая ртутная интоксикация // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2019. Т. 168, № 10. С. 479–483.
3. 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
4. Матушевская Е.В., Владимирова Е.В., Свищевская Е.В. Атопический дерматит и роль цинка в поддержании барьерных свойств кожи // *Клиническая дерматология и венерология*. 2020. Т. 19, № 3. С. 297–304. doi: 10.17116/klinderma202019031297
5. Мельнов С.Б. Молекулярно-генетические аспекты экологического неблагополучия (возможности проточной цитофлуориметрии). Минск : Белорусский комитет «Дзеці Чарнобыля», 2004. 294 с.
6. Пospelova С.В., Горовиц Э.С., Кривцов А.В., Долгих О.В. Изучение защитных антибактериальных механизмов у детей, проживающих в условиях воздействия выбросов предприятия черной металлургии // *Лабораторная служба*. 2021. Т. 10, № 2. С. 22–27.
7. Малышева Е.В., Фомичев А.В., Сосюкин А.Е., и др. Современные представления и перспективы применения энтеросорбентов в профилактике и лечении неблагоприятного воздействия соединений тяжелых металлов // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2020. № S3. С. 137.
8. Литвинцев Б.С., Фомичев А.В., Великова В.Д., Малышева Е.В. Неврологические последствия воздействия соединений ртути у пациентки X., 60 лет // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2020. № S3. С. 136–137.
9. Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я., Фокина А.И., Лялина Е.И. Химические основы токсического действия тяжёлых металлов (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2016. № 1. С. 4–13.
10. Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z., et al. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic // *Front Pharmacol*. 2021. Vol. 12. P. 643972. doi: 10.3389/fphar.2021.643972
11. Луковникова Л.В., Фомичев А.В., Иваненко Н.Б., и др. Система биомониторинга химических загрязнений и оценка влияний токсикантов на здоровье человека: проблемы и пути их решения // *Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук*. 2020. № 4. С. 111–124. doi: 10.26163/RAEN.2020.97.10.016
12. Скальный А.В., Лакарова Е.В., Кузнецов В.В., Скальная М.Г. Аналитические методы в биоэлементологии. Санкт-Петербург : Издательство «Наука», 2009. 264 с.
13. Определение вредных веществ в биологических средах : сборник методических указаний. Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 183 с.
14. Сетко А.Г., Сетко Н.П., Макарова Т.М., Сетко И.М. Особенности адаптированности детей к факторам среды обитания и критерии их оценки // *Гигиена и санитария*. 2005. № 6. С. 57.
15. Al Osman M., Yang F., Massey I.Y. Exposure routes and health effects of heavy metals on children // *Biometals*. 2019. Vol. 32, N 4. P. 563–573. doi:10.1007/s10534-019-00193-5
16. Bodnar M., Konieczka P., Namiesnik J. The properties, functions, and use of selenium compounds in living organisms // *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*. 2012. Vol. 30, N 3. P. 225–252. doi: 10.1080/10590501.2012.705164
17. Овсянникова А.И. Состояние системы иммунитета при экспериментальной хронической свинцовой интоксикации. Влияние селенита натрия : дис. ... канд. мед. наук. Владикавказ, 2013.
18. Тугельян В.А., Мазо В.К., Ширина Л.И. Значение селена в полноценном питании человека // *Гинекология*. 2002. Т. 4, № 2. С. 88–90.

REFERENCES

1. Vertinskii AP. pollution of the environment by heavy metals in the Russian Federation. *Innovation and investment*. 2020;1:232–237. (In Russ).
2. Chernyak Yul, Merinova AP. CYP3A polymorphisms and chronic mercury intoxication. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny*. 2019;168(10):479–483. (In Russ).
3. 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
4. Matushevskaya EV, Vladimirova EV, Svirshchevskaya EV. Atopic dermatitis and the role of zinc in maintaining skin barrier properties. *Russian Journal of Clinical Dermatology and Venereology*. 2020;19(3):297–304. (In Russ). doi: 10.17116/klinderma202019031297
5. Mel'nov SB. *Molekulyarno-geneticheskie aspekty ekologicheskogo neblagopoluchiya (vozmozhnosti protochnoi tsitofluorimetrii)*. Minsk: Belorusskii komitet "Dzetsi Charnobylya"; 2004. 294 p. (In Russ).
6. Pospelova SV, Horovits ES, Krivtsov AV, Dolgikh OV. Study of protective antibacterial mechanisms in children living in the conditions of exposure to emissions of the enterprise of black metallurgy. *Laboratory Service*. 2021;10(2):22–27. (In Russ).
7. Malysheva EV, Fomichev AV, Sosyukin AE, et al. Sovremennye predstavleniya i perspektivy primeneniya enterosorbentov v profilaktike i lechenii neblagopriyatnogo vozdeistviya soedinenii tyazhelykh metallov. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2020;S3:137. (In Russ).
8. Litvinsev BS, Fomichev AV, Velikova VD, Malysheva EV. Nevrologicheskie posledstviya vozdeistviya soedinenii rtuti u patsientki Kh., 60 let. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2020;(S3):136–137. (In Russ).

9. Skugoreva SG, Ashikhmina TYa, Fokina AI, Lyalina EI. Chemical grounds of toxic effect of heavy metals (review). *Theoretical and Applied Ecology*. 2016;(1):4–13. (In Russ).
10. Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, et al. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Front Pharmacol*. 2021;12:643972. doi: 10.3389/fphar.2021.643972
11. Lukovnikova LV, Fomichev AV, Ivanenko NB, et al. Biomonitoring system of chemical pollution and assessment of toxicants' effects on human health: problems and solutions. *Bulletin of Education and Science Development of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2020;(4):111–124. (In Russ). doi: 10.26163/RAEN.2020.97.10.016
12. Skal'nyi AV, Lakarova EV, Kuznetsov VV, Skal'naya MG. *Analiticheskie metody v bioelementologii*. Saint Petersburg: Izdatel'stvo "Nauka"; 2009. 264 p. (In Russ).
13. *Opredelenie vrednykh veshchestv v biologicheskikh sredakh: sbornik metodicheskikh ukazanii*. Moscow: Federal'nyi tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora; 2008. 183 p. (In Russ).
14. Setko AG, Setko NP, Makarova TM, Setko IM. The specific features of children's adaptability to environmental factors and the criteria for their assessment. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2005. № 6. С. 57. (In Russ).
15. Al Osman M, Yang F, Massey IY. Exposure routes and health effects of heavy metals on children // *Biomaterials*. 2019;32(4):563–573. doi: 10.1007/s10534-019-00193-5
16. Bodnar M, Konieczka P, Namiesnik J. The properties, functions, and use of selenium compounds in living organisms. *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev*. 2012;30(3):225–252. doi: 10.1080/10590501.2012.705164
17. Ovsjannikova AI. *Sostojanie sistemy immuniteta pri jeksperimental'noj hronicheskoj svincovoj intoksikacii. Vlijanie selenita natrija* [dissertation]. Vladikavkaz, 2013. (In Russ).
18. Tutel'yan VA, Mazo VK, Shirina LI. Znachenie selena v polnotsennom pitanii cheloveka. *Gynecology*. 2002;4(2):88–90. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **Пильник Елена Николаевна**, аспирант;
адрес: 192019, Санкт-Петербург, ул. Бехтерева, д. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0489-8132>;
eLibrary SPIN: 3821-7106;
e-mail: pilnik.76@mail.ru

Дерягина Лариса Евгеньевна, д.м.н., профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5522-5950>;
eLibrary SPIN: 6606-6628;
e-mail: lderyagina@mail.ru

Рейнюк Владимир Леонидович, д.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4472-6546>;
eLibrary SPIN: 5828-0337;
e-mail: institute@toxicology.ru

Пятибрат Александр Олегович, д.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6285-1132>;
eLibrary SPIN: 9812-4780;
e-mail: a5brat@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

* **Elena N. Pilnik**, graduate student;
address: 1 Bekhtereva street, 192019 Saint Petersburg, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0489-8132>;
eLibrary SPIN: 3821-7106;
e-mail: pilnik.76@mail.ru

Larisa E. Deryagina, MD, Dr. Sci. (Med.), professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5522-5950>;
eLibrary SPIN: 6606-6628;
e-mail: lderyagina@mail.ru

Vladimir L. Reinyuk, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4472-6546>;
eLibrary SPIN: 5828-0337;
e-mail: institute@toxicology.ru

Aleksandr O. Pyatibrat, MD, Dr. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6285-1132>;
eLibrary SPIN: 9812-4780;
e-mail: a5brat@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco114837>

Результаты пилотного исследования оценки уровня презентеизма при помощи Стэнфордской шкалы презентеизма среди работающего населения в Российской Федерации

А.А. Анциферова, А.В. Концевая, О.М. Драпкина

Национальный медицинский исследовательский центр терапии и профилактической медицины, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Состояние здоровья населения и экономическое развитие страны взаимосвязаны. Постоянно растут экономические затраты на компенсационные выплаты, связанные с ростом заболеваемости работников компаний. Непрямые затраты работодателей, связанные со здоровьем работников, складываются из абсентеизма и презентеизма работников. Определение распространённости частоты и уровня презентеизма требует особого подхода.

Цель. Оценить уровень презентеизма среди работников Российской Федерации при помощи Стэнфордской шкалы презентеизма.

Материалы и методы. В 2020 году экспертами Национального медицинского исследовательского центра терапии и профилактической медицины разработан комплекс инструментов (опросник для работодателей и опросник для работников). Опросник для работников, состоящий из 5 блоков, включает переведённую адаптированную версию Стэнфордской шкалы презентеизма. Он позволяет оценить степень снижения производительности труда, обусловленного состоянием здоровья, и при планировании программ укрепления здоровья рассчитать возможности сокращения презентеизма и повышения производительности труда.

Результаты. Апробация разработанного пакета инструментов проходила весной 2020 года в 28 регионах России. В опросе приняли участие работники из Ямало-Ненецкого автономного округа (44,9%; $n=248$), республики Карелия (18,8%; $n=104$), Удмуртской республики (17,5%; $n=97$), Сахалинской области (13,7%; $n=76$) и Алтайского края (5,1%; $n=28$). В результате получено 553 заполненных опросника от работников. Среди опрошенных мужчин было 33,5% ($n=187$), средний возраст — $39,8 \pm 10,7$ года, женщин — 66,5% ($n=366$), средний возраст — $42,6 \pm 11,1$ года.

Преимущественно у работников наблюдался средний уровень презентеизма ($n=271$; 57,3%), а низкий и высокий были у 41,2% ($n=196$) и 1,5% ($n=6$) соответственно. Средний уровень презентеизма был у 96 мужчин (59,9%) и 175 женщин (55,9%). Наиболее сильно презентеизм распространён у сотрудников в возрасте от 40 до 49 лет (33,2%; $n=157$), а наименее — старше 60 лет (5,7%; $n=27$). Минимальный уровень презентеизма наблюдался у технических специалистов (6,1%; $n=29$), а также у руководителей (10,1%; $n=48$).

Заключение. В пилотном исследовании объясняются выбор и преимущества Стэнфордской шкалы презентеизма для определения уровня презентеизма у российских работников. Полученные результаты свидетельствуют о высокой распространённости презентеизма у работников, что обуславливает необходимость дальнейших исследований, в том числе направленных на снижение уровня презентеизма.

Ключевые слова: презентеизм; оценка; экономические потери; Стэнфордская шкала презентеизма.

Как цитировать:

Анциферова А.А., Концевая А.В., Драпкина О.М. Результаты пилотного исследования оценки уровня презентеизма при помощи Стэнфордской шкалы презентеизма среди работающего населения в Российской Федерации // Экология человека. 2023. Т. 30, № 3. С. 213–222.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco114837>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco114837>

Results of a pilot study of presenteeism using the Stanford Presenteeism Scale among the working population in the Russian Federation

Aleksandra A. Antsiferova, Anna V. Kontsevaya, Oxana M. Drapkina

National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The health status of the population and the economic development of the country are interrelated. The economic costs of compensatory payments associated with an increase in the incidence of diseases among company employees are constantly growing. The indirect costs of employers related to the health of employees are made up of absenteeism and presenteeism of employees. Determining the prevalence of frequency and level of presenteeism requires a special approach.

AIM: To assess the level of presenteeism among employees in the Russian Federation using the Stanford Presenteeism Scale.

MATERIALS AND METHODS: In 2020, experts from the National Medical Research Center for Therapy and Preventive Medicine of the Ministry of Health of Russian Federation developed a set of tools (a questionnaire for employers and a questionnaire for employees). The 5-block employee questionnaire includes a translated and adapted version of the Stanford Presenteeism Scale. This unit assesses the degree of decline in productivity due to health conditions and, accordingly, when planning health promotion programs, calculate the opportunities to reduce presenteeism and increase productivity.

RESULTS: Pilot testing of the developed package of tools took place in the spring of 2020 in 28 regions of Russia. The study included workers from the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (44.9%, $n=248$), the Republic of Karelia (18.8%, $n=104$), the Udmurt Republic (17.5%, $n=97$), the Sakhalin Region (13.7%, $n=76$) and Altai Territory (5.1%, $n=28$). As a result, 553 completed questionnaires were returned. Among the interviewed employees, 33.5% were men ($n=187$) with the mean age of 39.8 ± 10.7 years. Women ($n=366$, 66.5%) had the average age of 42.6 ± 11.1 years. Most employees had an average level of presenteeism ($n=271$, 57.3%), while low and high levels were observed in 41.2% ($n=196$) and 1.5% ($n=6$), respectively. The average level of presenteeism was observed in 96 men (59.9%) and 175 women (55.9%). Presenteeism was the most prevalent among employees aged 40 to 49 (33.2%, $n=157$), and the least prevalent among employees aged 60 years and older (5.7%, $n=27$). The lowest level of presenteeism was observed among technical specialists (6.1%, $n=29$), as well as among managers (10.1%, $n=48$).

CONCLUSION: The results of this pilot study revealed high prevalence of presenteeism among workers warranting further research in other regions. Studies aimed at reducing the level of presenteeism are also needed.

Keywords: presenteeism; assessment; economic loss; Stanford Presenteeism Scale.

To cite this article:

Antsiferova AA, Kontsevaya AV, Drapkina OM. Results of a pilot study of presenteeism using the Stanford Presenteeism Scale among the working population in the Russian Federation. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(3):213–222. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco114837>

Received: 24.11.2022

Accepted: 04.04.2023

Published online: 01.05.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Состояние здоровья населения и экономическое развитие страны взаимосвязаны. Любые действия, которые предпринимает человек для того, чтобы улучшить и поддержать свое здоровье, необходимо рассматривать как инвестиции. Здоровье человека — это часть человеческого капитала и всей экономики в целом. От инвестиций в здоровье зависит возможность экономического роста страны. Улучшение здоровья населения за счёт пролонгации работоспособности и повышения качества жизни приводит к увеличению предложения рабочей силы, росту производительности труда и, соответственно, росту экономических показателей развития как отдельных регионов, так и страны в целом.

В условиях социально ориентированной рыночной экономики потребность в здоровье становится системообразующим фактором, а сама экономическая система побуждает человека к укреплению индивидуального здоровья. Однако специфика современного образа жизни, в которой у человека не остаётся времени на себя и собственное здоровье, вынуждает его посещать рабочее место во время болезни. Работники с признаками заболеваний находятся на работе из-за риска потери рабочего места, по финансовым соображениям (из-за снижения дохода), из-за боязни потерять занимаемую должность и ухудшить взаимоотношения с работодателем [1]. Результаты проведённого опроса 1 тыс. работодателей и 1,6 тыс. работников Российской Федерации показывают, что 82% опрошенных работников не оформляют лист временной нетрудоспособности в случае заболевания и продолжают посещать рабочее место, мотивируя свои действия большим объёмом работы (42%), снижением дохода (18%) и другими причинами [2]. Такая статистика подтверждает, что явление презентеизма (от англ. *presenteeism* — снижение производительности труда во время выполнения своих обязанностей на рабочем месте, связанное с заболеванием) распространено среди лиц трудоспособного возраста в Российской Федерации и может иметь большое значение для экономики страны в целом.

Производительность труда работника зависит от его состояния здоровья. При наличии признаков заболевания она снижается в течение рабочего дня. Так, производительность труда снизилась в течение года наблюдения до 2% у работников с сахарным диабетом, до 9,5% — у работников с психологическими проблемами [3]. Непрямые затраты работодателей, связанные со здоровьем работников, складываются из временной нетрудоспособности (абсентеизма), презентеизма работников и выплат по инвалидности [4]. Абсентеизм можно измерить объективно, используя данные компании, в то время как показатели частоты и уровня презентеизма в основном субъективны и основаны на оценке работниками способности к трудовой деятельности и на их отношении к листам временной нетрудоспособности.

Появляется всё больше доказательств того, что распространённость презентеизма и экономический ущерб по этой причине для организаций выше по сравнению с уровнем абсентеизма, хотя его оценка сложнее [5, 6]. Постоянно растут экономические затраты на компенсационные выплаты, связанные с ростом заболеваемости у работников компаний [7]. Экономический ущерб по причине презентеизма может достигать до 63% от общей стоимости заболеваний работников, что превышает суммарные выплаты по инвалидности, абсентеизму и на медицинское обслуживание работников [8]. В России экономические потери от презентеизма внушительны и составляют более 133 млн руб. на 1000 работников, или 133 тыс. на одного работника в год [9].

Определение распространённости частоты, уровня презентеизма и затрат, обусловленных им, требует особого подхода. Оценка презентеизма проводится при помощи ранговых шкал, путём проведения интервью с работником или самозаполнения им специальной анкеты. Обзор зарубежных публикаций позволяет сделать вывод о том, что до настоящего времени специалисты не располагают единым инструментом для изучения феномена презентеизма в организациях [10]. Применение разработанных опросников и шкал широко распространено в медицине, используется также метод анкетирования населения, в частности лиц трудоспособного возраста. Разработаны десятки различных опросников и шкал для оценки уровня презентеизма: *Work Limitations Questionnaire*, *the Health and Work Performance Questionnaire*, *the Work Productivity and Activity Impairment Questionnaire*, *the Health and Work Questionnaire* и другие [10]. Опросники различаются по оцениваемому временному периоду (от одной недели до месяца), количеству вопросов, по нозологиям (одни опросники направлены на оценку влияния только одного заболевания, другие — множества заболеваний). Помимо этого, в некоторых опросниках предусмотрено получение информации о лабораторных исследованиях крови (глюкоза, холестерин и др.).

Одним из наиболее известных и широко используемых опросников для оценки уровня презентеизма среди работников является *Stanford Presenteeism Scale* (Стэнфордская шкала презентеизма) [7]. Уровень презентеизма при помощи данной шкалы исследуется во многих странах, например в Португалии [11], Турции [5] и Китае [12]. Стэнфордская шкала презентеизма оценивает влияние проблем со здоровьем на индивидуальную работоспособность и продуктивность работника, а также производительность труда за последние 4 нед. Существует две версии Стэнфордской шкалы презентеизма, которые различаются количеством вопросов (32 и 6). Работникам необходимо выбрать один из предложенных вариантов ответов по ранговой шкале.

По сравнению с мировой практикой в России изучать презентеизм у работников стали относительно недавно, однако прослеживается большой интерес исследователей

к данной проблеме [13–15]. К причинам, затрудняющим изучение презентеизма среди российских работников, относится, во-первых, отсутствие мирового «золотого стандарта» для измерения уровня презентеизма, во-вторых, отсутствие инструмента на русском языке, оценивающего этот уровень. Несмотря на то, что разработано множество инструментов для измерения презентеизма, они, как правило, на английском языке, и это является препятствием для использования их русскоязычным населением.

Цель исследования. Проведение пилотного исследования по оценке уровня презентеизма среди работников Российской Федерации при помощи Стэнфордской шкалы презентеизма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В 2019 году в рамках Национального проекта «Демография», Федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» Минздравом России совместно с Национальным медицинским исследовательским центром терапии и профилактической медицины (НМИЦ ТПМ) разработаны модельные программы «Укрепление здоровья работающих» и библиотека корпоративных программ «Укрепление здоровья работающих» [16, 17]. В 2020 году экспертами НМИЦ ТПМ разработан комплекс инструментов, способствующий внедрению корпоративных программ укрепления здоровья работающих (опросник для работодателей и опросник для работников) [18]. Опросник для работников состоит из 100 вопросов, разделённых на 5 блоков, в том числе: общие сведения о работнике; оздоровительные и профилактические мероприятия; образ жизни; влияние состояния здоровья на трудоспособность (презентеизм); сохранение психического здоровья и благополучия и мотивация для участия в программах укрепления здоровья работников.

При разработке блока «Влияние состояния здоровья

на трудоспособность (презентеизм)» с целью оценки уровня презентеизма среди лиц трудоспособного возраста России использовали Стэнфордскую шкалу презентеизма. Этот блок позволяет оценить степень снижения производительности труда, обусловленного состоянием здоровья, и при планировании программ укрепления здоровья рассчитать возможности сокращения презентеизма и повышения производительности труда. При разработке опросника для работника в целом придерживались следующих критериев: краткость, простота и однозначность вопросов и ответов, поэтому для исследования была выбрана версия Стэнфордской шкалы презентеизма, содержащая 6 утверждений.

С помощью вопросов шкалы оценивают, может ли работник из-за имеющихся проблем со здоровьем выполнять ежедневные рабочие задания, сосредоточиться на достижении рабочих целей, а также анализируют его отношение к работе (табл. 1). Следует отметить, что ранее Стэнфордская шкала презентеизма не переводилась на русский язык.

Для каждого из вышеописанных утверждений респондентам необходимо выбрать один из вариантов ответа, который охарактеризует согласие или несогласие с каждым из предложенных утверждений. Ответы представлены в виде ранговой шкалы (от варианта «абсолютно не согласен» до «полностью согласен»). Варианты ответов на языке оригинала и их перевод представлены в табл. 2.

Опросники (формат Microsoft Word) были разосланы главным внештатным специалистам по профилактической медицине для обеспечения широкого охвата населения в ходе проведения пилотного исследования. (По этой причине до момента получения результатов невозможно было предположить географию исследования и характеристику выборки.) Критериями включения в исследование были трудоустройство работника и возраст 18 лет и старше. В ходе исследования не собирались персональные

Таблица 1. Стэнфордская шкала презентеизма и перевод на русский от экспертов Национального медицинского исследовательского центра терапии и профилактической медицины

Table 1. Stanford Presenteeism Scale and Russian translation from experts at the National Medical Research Centre for Internal Medicine and Preventive Medicine

Оригинал	Перевод
Despite having my (health problem), I was able to finish hard tasks in my work	Несмотря на проблемы со здоровьем, я могу выполнить в срок трудные задания
At work, I was able to focus on achieving my goals despite my (health problem)	На работе я могу сосредоточиться и достичь своих целей, несмотря на проблемы со здоровьем
Despite having my (health problem), I felt energetic enough to complete all my work	Несмотря на проблемы со здоровьем, у меня есть силы, чтобы закончить работу
Because of my (health problem), the stresses of my job were much harder to handle	Из-за моих проблем со здоровьем и стрессов на работе мне трудно справляться со своими должностными обязанностями
My (health problem) distracted me from taking pleasure in my work	Проблемы со здоровьем делают меня рассеянным и снижают желание работать
I felt hopeless about finishing certain work tasks, due to my (health problem)	Я не всегда бываю уверен(а), что смогу завершить работу в срок из-за проблем со здоровьем

Таблица 2. Варианты ответов на английском и русском языке**Table 2.** Response options in English and Russian

Оригинал	Перевод
Please use the following scale (circle the answer):	Для каждого вопроса выберите один вариант ответа:
if you strongly disagree with the statement	абсолютно не согласен(на)
if you somewhat disagree with the statement	немного не согласен(на)
if you are uncertain about your agreement with the statement	не уверена(а)/не знаю
if you somewhat agree with the statement	отчасти согласен(на)
if you strongly agree with the statement	полностью согласен(на)

данные работников, работник имел право остановить прохождение опроса в любой момент.

РЕЗУЛЬТАТЫ

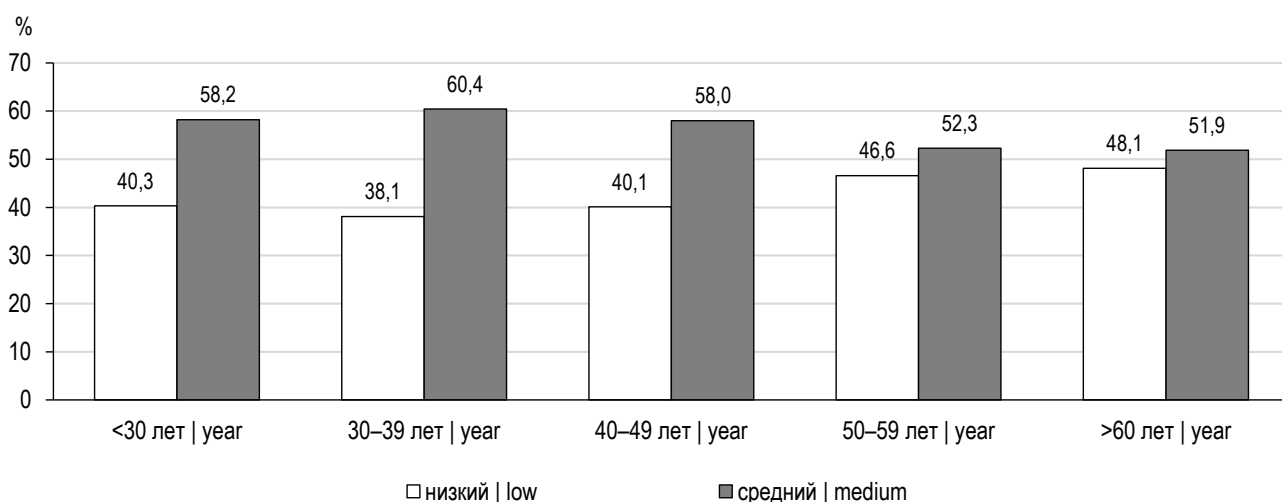
Пилотирование разработанного пакета инструментов проходило весной 2020 года в 28 регионах России. В результате получено 553 заполненных опросника от работников. Среди опрошенных мужчин было 33,5% ($n=187$), средний возраст — $39,8 \pm 10,7$ года; женщин — 66,5% ($n=366$), средний возраст — $42,6 \pm 11,1$ года.

К преимуществам данного пилотного исследования, в частности использования Стэнфордской шкалы презентеизма для России, можно отнести широкую географию анкетирования. В опросе приняли участие работники из Ямало-Ненецкого автономного округа (44,9%; $n=248$), республики Карелия (18,8%; $n=104$), Удмуртской республики (17,5%; $n=97$), Сахалинской области (13,7%; $n=76$) и Алтайского края (5,1%; $n=28$).

Ввиду отсутствия или неполноты заполненных данных 80 опросников исключены при анализе уровня презентеизма среди работников, оставшиеся 473 опросника включены в расчёты. Наблюдался преимущественно средний уровень презентеизма ($n=271$; 57,3%), а низкий и высокий уровни были у 41,2% ($n=196$) и 1,5% ($n=6$)

работников соответственно. Средний уровень презентеизма был у 96 мужчин (59,9%) и 175 женщин (55,9%), низкий — у 64 (38,9%) и 132 (42,4%), а высокий — у 2 мужчин (1,2%) и 4 женщин (1,6%). Так как количество работников с высоким уровнем презентеизма составило 1,4% от общего количества опрошенных, то дальнейшие расчёты были выполнены для работников со средним и низким уровнем презентеизма.

На рис. 1 представлена информация об уровне презентеизма в зависимости от возраста работников. Наибольший показатель среднего уровня презентеизма зафиксирован у работников в возрасте 30–39 лет (60,4%; $n=81$), а низкий уровень презентеизма — у работников старше 60 лет (48,1%; $n=13$). На рис. 2 содержится информация об уровне презентеизма в зависимости от образования работников. Средний уровень презентеизма снижается у работников при наличии более высокого уровня образования: так, у работников с неполным средним/средним образованием средний уровень презентеизма составил 72,3% ($n=34$), а у работников с высшим образованием — 53,7% ($n=168$). Противоположная ситуация наблюдалась с низким уровнем презентеизма — от 23,4% ($n=11$) до 44,4% ($n=139$) соответственно. Наибольший показатель среднего уровня презентеизма наблюдался у работников производства (68,1%; $n=77$), у них же зафиксирован самый

**Рис. 1.** Уровень презентеизма в разных возрастных группах, %.**Fig. 1.** Presenteeism level in different age groups, %.

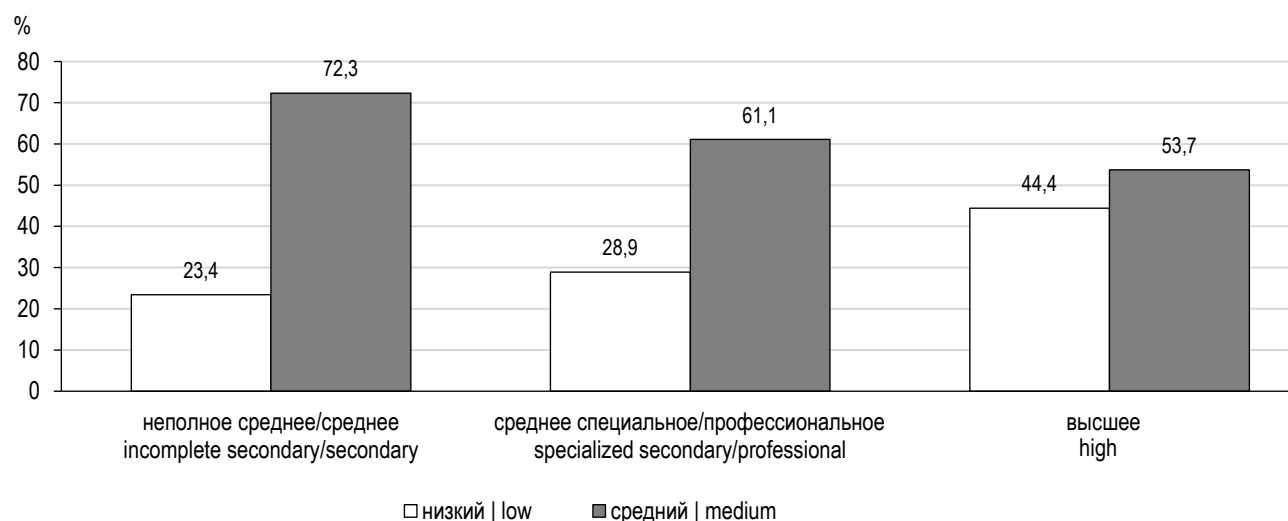


Рис. 2. Уровень презентеизма в зависимости от образования работников, %.

Fig. 2. Presenteeism level by employees' education, %.

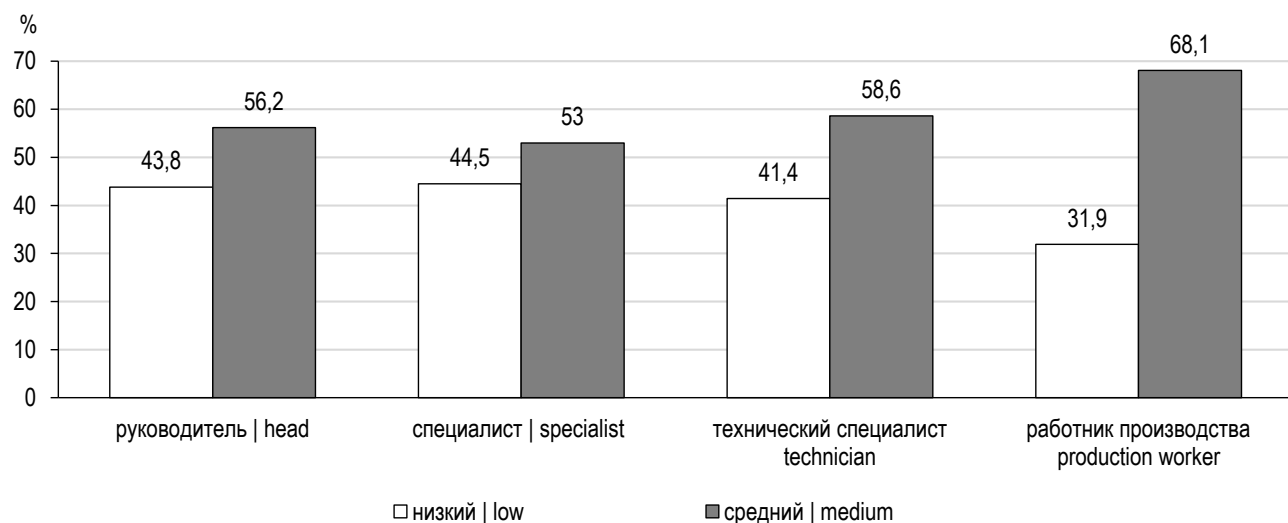


Рис. 3. Уровень презентеизма в зависимости от занимаемой должности, %.

Fig. 3. Presenteeism level by occupation, %.

низкий показатель низкого уровня презентеизма (31,9%; $n=37$). По другим должностям (руководитель, специалист и технический специалист) наблюдалась вариабельность, но незначительная (рис. 3).

После проведения пилотного исследования вопросник был доработан с учётом полученных комментариев респондентов. Подробно процесс доработки описан ранее [18]. Пилотное исследование показало, что часть работников не знакомы с термином «презентеизм». Такие респонденты не отвечали на вопросы данного блока. В связи с этим экспертами НМИЦ ТПМ было принято решение переименовать блок: старое название — «Презентеизм», новое название — «Влияние состояния здоровья на работоспособность».

ОБСУЖДЕНИЕ

Стэнфордская шкала презентеизма, используемая

при проведении пилотного исследования по оценке уровня презентеизма среди российских работников, позволяет оценить степень, в которой имеющиеся проблемы со здоровьем могут ухудшить когнитивные, эмоциональные и поведенческие показатели работников. В соответствии с требованиями, описанными выше, в настоящей работе использовалась краткая версия шкалы. Важно отметить, что при максимальной кратности Стэнфордская шкала презентеизма отвечает основным критериям диагностики уровня презентеизма у работников и позволяет широко её использовать.

Большое значение имеет соблюдение правил формулировки вопросов анкеты: рекомендуется представлять их в виде утверждения, поскольку вопросы закрытого типа позволяют получить более форматизированную и легко интерпретируемую информацию (информация, полученная на основании вопросов открытого типа, сложно поддаётся интерпретации и статистической обработке).

Так как в оригинале Стэнфордской шкалы презентеизма вопросы сформулированы в виде утверждений, эксперты при переводе сохранили такой же формат.

По результатам пилотного исследования мы получили информацию об уровнях презентеизма среди работников Российской Федерации. Почти у двух третей работников наблюдался средний уровень презентеизма. Высокий уровень презентеизма, при котором наблюдается максимальное снижение производительности труда, был у 1,4% опрошенных. Таких работников, конечно же, небольшое количество по сравнению с работниками с низким и средним уровнем презентеизма, но так как у них наиболее снижена производительность труда, то экономические потери работодателей самые высокие.

Уровень презентеизма у опрошенных работников снижается с возрастом. Кроме того, отмечено его снижение у руководителей по сравнению с работниками производства. Это соответствует данным литературы, что презентеизм более распространён среди работников молодого и среднего возраста, а также лиц, получающих низкий ежемесячный доход [19]. Вероятнее всего, это обусловлено строгими требованиями, предъявляемыми молодым сотрудникам, снижением показателей эффективности, а также конкуренцией. Руководители же с большей вероятностью будут продолжать работать во время болезни, так как на них возложено больше обязательств. Самозанятые лица и индивидуальные предприниматели также с большей вероятностью продолжат трудовую деятельность во время работы, чем работники, получающие фиксированную заработную плату [20].

Уровень абсентеизма снижается, однако это не обозначает, что население стало более здоровым. Вероятнее всего, из-за отягощающих обстоятельств (наличие кредита, плохие взаимоотношения с руководством, высокая конкуренция и т.п.) люди более склонны работать во время болезни [21]. Помимо этого, среди индивидуальных причин презентеизма можно выделить личные качества работника, побуждающие его работать во время болезни, например трудоголизм. Организационная политика компании и целостность коллектива могут провоцировать стремление сотрудника выйти за рамки официальных требований к работе, например прийти нездоровым на работу, что может иметь более тяжёлые последствия как для собственного здоровья работника, так и для коллектива — их здоровье подвергается опасности.

Связанные со здоровьем причины презентеизма можно поделить на 4 категории: острые заболевания, повторяющиеся жалобы, хронические заболевания и факторы образа жизни [22]. В литературе описывается два типа презентеизма: первый возникает из-за острого заболевания (острая респираторная вирусная инфекция или грипп), второй — из-за ухудшения течения или обострения существующего хронического неинфекционного заболевания (артрит, гипертонический криз) [10]. Презентеизм повышает риск будущих проблем со

здоровьем, а также увеличивает абсентеизм в будущем [23]. Культура на рабочем месте, где работодатели и работники остаются дома во время болезни (абсентеизм), способствует снижению презентеизма, сокращению экономических потерь организации и улучшению здоровья её работников.

После проведения пилотного исследования и доработки структуры опроса эксперты НМИЦ ТПМ разработали электронную версию опросника (платформа «АТРИЯ» доступна по ссылке <https://atriya.gnicpm.ru/>). Каждый заинтересованный работодатель может организовать опрос своих работников и оценить их уровень презентеизма. Работодатели могут влиять на уровень презентеизма путём реализации на предприятии корпоративных программ укрепления здоровья и тем самым укреплять здоровье своих работников и снижать экономические потери [24].

Ограничения исследования. Несмотря на то, что настоящее исследование имеет ряд сильных сторон (большой размер выборки и география исследования), существует ряд ограничений. Во-первых, данное пилотное исследование проводилось путём самозаполнения работниками специально разработанной анкеты. Такой метод мог привести к искажению полученных сведений от работников, поскольку предоставленные данные могли быть подвержены систематической ошибке воспоминания. Во-вторых, большая часть выборки представлена женщинами (66,5%). В-третьих, исследователи не могли повлиять на характеристику выборки, так как разработанные опросники были разосланы экспертами НМИЦ ТПМ главным внештатным специалистам по профилактической медицине, которые в свою очередь отправляли их по своим каналам работодателям, специалистам центров общественного здоровья и другим заинтересованным лицам. Тем не менее такой способ рассылки опросников оказался эффективным в отношении целей исследования, поскольку способствовал широкому распространению анкеты и получению ценных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стэнфордская шкала презентеизма отличается лаконичностью, простотой получения и интерпретации результатов, что обеспечивает её надёжность и позволяет рекомендовать данную шкалу для использования на практике. Настоящая работа описывает процесс применения Стэнфордской шкалы презентеизма для определения уровня презентеизма среди российских работников, в частности объясняются выбор и преимущества данной шкалы. Полученные результаты пилотного исследования свидетельствуют о высокой распространённости презентеизма у работников, что обуславливает необходимость дальнейших исследований, в том числе направленных на снижение уровня презентеизма в России. Разработанный инструмент оценки уровня презентеизма для российского

трудоспособного населения может внести дополнительный вклад в изучение презентеизма среди работников.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования — А.В. Концевая, О.М. Драпкина; сбор и обработка материалов — А.А. Анциферова; статистическая обработка данных — А.А. Анциферова; написание текста — А.В. Концевая, А.А. Анциферова; редактирование, окончательное утверждение текста рукописи — О.М. Драпкина. 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).

Authors' contribution: conception and design of the study — A.V. Kontsevaya, O.M. Drapkina; collection and processing of materials — A.A. Antsiferova; statistical data processing — A.A. Antsiferova; text writing — A.V. Kontsevaya, A.A. Antsiferova; editing, final approval of the manuscript text — O.M. Drapkina. 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).

Источник финансирования. Исследование не получало финансовой поддержки.

Funding sources. No external funding.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Goto E., Ishikawa H., Okuhara T., et al. Presenteeism among workers: health-related factors, work-related factors and health literacy // *Occup Med (Lond)*. 2020. Vol. 70, N 8. P. 564–569. doi: 10.1093/occmed/kqaa168
- Змановская А. 82% россиян не берут больничный // *Известия*. 27 июля 2015.
- Leijten F.R., van den Heuvel S.G., Ybema J.F., et al. The influence of chronic health problems on work ability and productivity at work: a longitudinal study among older employees // *Scand J Work Environ Health*. 2014. Vol. 40, N 5. P. 473–482. doi: 10.5271/sjweh.3444
- Kowlessar N.M., Goetzel R.Z., Carls G.S., et al. The relationship between 11 health risks and medical and productivity costs for a large employer // *J Occup Environ Med*. 2011. Vol. 53, N 5. P. 468–477. doi: 10.1097/JOM.0b013e31821586b8
- Strömberg C., Aboagye E., Hagberg J., et al. Estimating the effect and economic impact of absenteeism, presenteeism, and work environment-related problems on reductions in productivity from a managerial perspective // *Value Health*. 2017. Vol. 20, N 8. P. 1058–1064. doi: 10.1016/j.jval.2017.05.008
- Kigozi J., Jowett S., Lewis M., et al. The estimation and inclusion of presenteeism costs in applied economic evaluation: a systematic review // *Value Health*. 2017. Vol. 20, N 3. P. 496–506. doi: 10.1016/j.jval.2016.12.006
- Asay G.R., Roy K., Lang J.E., et al. Absenteeism and employer costs associated with chronic diseases and health risk factors in the US workforce // *Prev Chronic Dis*. 2016. Vol. 13. P. E141. doi: 10.5888/pcd13.150503
- Loeppke R., Taitel M., Haufle V., et al. Health and productivity as a business strategy: a multiemployer study // *J Occup Environ Med*. 2009. Vol. 51, N 4. P. 411–428. doi: 10.1097/JOM.0b013e3181a39180
- Концевая А.В., Анциферова А.А., Иванова Е.С., и др. Презентеизм как причина экономических потерь работодателя: разработка методологии оценки и апробация в рамках онлайн-инструмента «Атрия» // *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2022. № 4. С. 34–41. doi: 10.17116/medtech20224404134
- Schultz A.B., Chen C.Y., Edington D.W. The cost and impact of health conditions on presenteeism to employers: a review of the literature // *Pharmacoeconomics*. 2009. Vol. 27, N 5. P. 365–378. doi: 10.2165/00019053-200927050-00002
- Laranjeira C.A. Validation of the Portuguese version of the Stanford Presenteeism Scale in nurses // *Int J Nurs Pract*. 2013. Vol. 19, N 6. P. 644–650. doi: 10.1111/ijn.12117
- Jiang X.W., Liu J.N., Liu F.J., et al. Reliability and validity of Stanford Presenteeism Scale (SPS-6) in Chinese occupational population // *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 2020. Vol. 38, N 12. P. 898–902. doi: 10.3760/cma.j.cn121094-20191114-00529
- Лисовская А.Ю. «Отсутствие присутствия»: о необходимости исследований феномена презентеизма // *Организационная психология*. 2016. Т. 6, № 4. С. 53–64.
- Федорова А.Э., Морохов Н.Д. Здоровье и благополучие на рабочем месте: результаты скрининга на основе самооценки работников предприятия // *Вестник Омского университета. Серия: Экономика*. 2019. Т. 17, № 3. С. 125–134. doi: 10.25513/1812-3988.2019.17(3).125-134
- Фрелих М.В., Федорова А.Э. Оценка физического и психосоциального благополучия персонала: самочувствие работников и презентеизм на рабочем месте // *Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России*. 2021. Т. 10, № 4. С. 14–19. doi: 10.12737/2305-7807-2021-10-4-14-19
- Библиотека корпоративных программ «Укрепление здоровья работающих». 2019. [дата обращения: 24.11.2022]. Доступ по ссылке: https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/046/753/original/Библиотека_корпоративных_программ.pdf?1565693486
- Корпоративные модельные программы «Укрепление здоровья работающих». 2019. [дата обращения: 24.11.2022]. Доступ по ссылке: https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/046/785/original/Корпоративные_модельные_программы_Укрепление_общественного_здоровья.pdf?1565881637
- Концевая А.В., Анциферова А.А., Иванова Е.С., Драпкина О.М. Разработка пакета инструментов планирования и внедрения

- корпоративных программ укрепления здоровья в организационных коллективах // Экология человека. 2021. Т. 28, № 7. С. 58–64.
doi: 10.33396/1728-0869-2021-7-58-64
19. Gosselin E., Lemyre L., Corneil W. Presenteeism and absenteeism: differentiated understanding of related phenomena // *J Occup Health Psychol.* 2013. Vol. 18, N 1. P. 75–86.
doi: 10.1037/a0030932
 20. Johansen V., Aronsson G., Marklund S. Positive and negative reasons for sickness presenteeism in Norway and Sweden: a cross-sectional survey // *BMJ Open.* 2014. Vol. 4, N 2. P. e004123. doi: 10.1136/bmjopen-2013-004123
 21. Miraglia M., Johns G. Going to work ill: a meta-analysis of the correlates of presenteeism and a dual-path model // *J Occup Health Psychol.* 2016. Vol. 21, N 3. P. 261–283. doi: 10.1037/ocp0000015
 22. Kinman G. Sickness presenteeism at work: prevalence, costs and management // *Br Med Bull.* 2019. Vol. 129, N 1. P. 69–78. doi: 10.1093/bmb/ldy043
 23. Skagen K., Collins A.M. The consequences of sickness presenteeism on health and wellbeing over time: a systematic review // *Soc Sci Med.* 2016. Vol. 161. P. 169–177. doi: 10.1016/j.socscimed.2016.06.005
 24. Рыбаков И.А. Экономическая эффективность программ по укреплению корпоративного здоровья, а также профилактических программ на рабочем месте для сотрудников с краткосрочной временной нетрудоспособностью // Биозащита и биобезопасность. 2015. Т. 7, № 1. С. 10–17.

REFERENCES

1. Goto E, Ishikawa H, Okuhara T, et al. Presenteeism among workers: health-related factors, work-related factors and health literacy. *Occup Med (Lond).* 2020;70(8):564–569. doi: 10.1093/occmed/kqaa168
2. Zmanovskaja A. 82% rossijan ne berut bol'nichnyj. *Izvestija.* 2015 Jul 27. (In Russ).
3. Leijten FR, van den Heuvel SG, Ybema JF, et al. The influence of chronic health problems on work ability and productivity at work: a longitudinal study among older employees. *Scand J Work Environ Health.* 2014;40(5):473–482. doi: 10.5271/sjweh.3444
4. Kowlessar NM, Goetzel RZ, Carls GS, et al. The relationship between 11 health risks and medical and productivity costs for a large employer. *J Occup Environ Med.* 2011;53(5):468–477. doi: 10.1097/JOM.0b013e31821586b8
5. Strömberg C, Aboagye E, Hagberg J, et al. Estimating the effect and economic impact of absenteeism, presenteeism, and work environment-related problems on reductions in productivity from a managerial perspective. *Value Health.* 2017;20(8):1058–1064. doi: 10.1016/j.jval.2017.05.008
6. Kigozi J, Jowett S, Lewis M, et al. The estimation and inclusion of presenteeism costs in applied economic evaluation: a systematic review. *Value Health.* 2017;20(3):496–506. doi: 10.1016/j.jval.2016.12.006
7. Asay GR, Roy K, Lang JE, et al. Absenteeism and employer costs associated with chronic diseases and health risk factors in the US workforce. *Prev Chronic Dis.* 2016;13:E141. doi: 10.5888/pcd13.150503
8. Loeppke R, Taitel M, Haufle V, et al. Health and productivity as a business strategy: a multiemployer study. *J Occup Environ Med.* 2009. Vol. 51, N 4. P. 411–428. doi: 10.1097/JOM.0b013e3181a39180
9. Kontsevaya AV, Antsiferova AA, Ivanova ES, et al. Presenteeism as a cause of employer's economic losses: development of evaluation methodology and approbation in the Atria online tool. *Medical Technologies. Assessment and Choice.* 2022;(4):34–41. (In Russ). doi: 10.17116/medtech20224404134
10. Schultz AB, Chen CY, Edington DW. The cost and impact of health conditions on presenteeism to employers: a review of the literature. *Pharmacoeconomics.* 2009;27(5):365–378. doi: 10.2165/00019053-200927050-00002
11. Laranjeira CA. Validation of the Portuguese version of the Stanford Presenteeism Scale in nurses. *Int J Nurs Pract.* 2013;19(6):644–650. doi: 10.1111/ijn.12117
12. Jiang XW, Liu JN, Liu FJ, et al. Reliability and validity of Stanford Presenteeism Scale (SPS-6) in Chinese occupational population. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi.* 2020;38(12):898–902. doi: 10.3760/cma.j.cn121094-20191114-00529
13. Lisovskaya A. The lack of presence: the need to research the presenteeism among modern Russian employees. *Organizational Psychology.* 2016;6(4):53–64. (In Russ).
14. Fedorova AE, Morokhov ND. Health and well-being at the workplace: screening results based on the self-assessment of employees. *Herald of Omsk University. Series Economics.* 2019;17(3):125–134. (In Russ). doi: 10.25513/1812-3988.2019.17(3).125-134
15. Frelih M, Fedorova A. Evaluation of physical and psychosocial well-being of personnel: employees' aels-feeling and presenteeism at work. *Upravlenie personalom i intellektual'nyimi resursami v Rossii.* 2021;10(4):14–19. (In Russ). doi: 10.12737/2305-7807-2021-10-4-14-19
16. Biblioteka korporativnyh programm «Ukreplenie zdorov'ja rabotajushih». 2019. [cited 2022 Nov 24]. Available from: https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/046/753/original/Библиотека_корпоративных_программ.pdf?1565693486
17. Korporativnye model'nye programmy «Ukreplenie zdorov'ja rabotajushih». 2019. [cited: 2022 Nov 24]. Available from: https://static-1.rosminzdrav.ru/system/attachments/attaches/000/046/785/original/Корпоративные_модельные_программы_Укрепление_общественного_здоровья.pdf?1565881637
18. Kontsevaya AV, Antsiferova AA, Ivanova ES, Drapkina OM. Development of the set of tools and implementation of workplace well-being programs. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2021;28(7):58–54. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2021-7-58-64
19. Gosselin E, Lemyre L, Corneil W. Presenteeism and absenteeism: differentiated understanding of related phenomena. *J Occup Health Psychol.* 2013;18(1):75–86. doi: 10.1037/a0030932
20. Johansen V, Aronsson G, Marklund S. Positive and negative reasons for sickness presenteeism in Norway and Sweden: a cross-sectional survey. *BMJ Open.* 2014;4(2):e004123. doi: 10.1136/bmjopen-2013-004123

21. Miraglia M, Johns G. Going to work ill: a meta-analysis of the correlates of presenteeism and a dual-path model. *J Occup Health Psychol.* 2016;21(3):261–283.
doi: 10.1037/ocp0000015
22. Kinman G. Sickness presenteeism at work: prevalence, costs and management. *Br Med Bull.* 2019;129(1):69–78.
doi: 10.1093/bmb/ldy043
23. Skagen K, Collins AM. The consequences of sickness presenteeism on health and wellbeing over time: a systematic review. *Soc Sci Med.* 2016;161:169–177. doi: 10.1016/j.socscimed.2016.06.005
24. Rybakov IA. The economic efficiency of corporative health promote program and alsoof prophylactic programs at workplace for employees with short-term disability. *Biozashchita i biobezopasnost' (Biosecurity and Biosecurity).* 2015;7(1):10–17. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

Анциферова Александра Александровна,
научный сотрудник; адрес: Россия, 101990, Москва,
Петроверигский пер., д. 10, стр 3;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2337-2723>;
eLibrary SPIN 7087-7198;
e-mail: antsiferovaaleksandra@mail.ru

Концевая Анна Васильевна, д.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2062-1536>;
eLibrary SPIN 6787-2500;
e-mail: koncanna@yandex.ru

Драпкина Оксана Михайловна, д.м.н., профессор; ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-4453-8430>;
eLibrary SPIN: 4456-1297;
e-mail: ODrapkina@gnicpm.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

Aleksandra A. Antsiferova, MD, research associate;
Address: 10, bld 3 Petroverigskij lane,
101990 Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2337-2723>;
eLibrary SPIN 7087-7198;
e-mail: antsiferovaaleksandra@mail.ru

Anna V. Kontsevaya, MD, Dr. Sci. (Med);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2062-1536>;
eLibrary SPIN 6787-2500;
e-mail: koncanna@yandex.ru

Oxana M. Drapkina, MD, Dr. Sci. (Med), professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-8430>;
eLibrary SPIN: 4456-1297;
e-mail: ODrapkina@gnicpm.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco192536>

Влияние кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов электроэнцефалограммы здорового человека

В.А. Семилетова¹, Е.В. Дорохов¹, Я.В. Булгакова²¹ Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Воронеж, Российская Федерация;² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Спелеотерапия — один из комплексных немедикаментозных методов воздействия для сохранения и укрепления здоровья. Адаптационные механизмы его влияния на организм человека изучены недостаточно.

Цель. Исследование кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов электроэнцефалограммы здорового человека.

Материалы и методы. Обследовано 25 студентов-добровольцев, каждый из которых был информирован о цели исследования, подписав согласие на участие в эксперименте. У студентов экспериментальной группы регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) проведена до и после двухчасового спелеотерапевтического воздействия с помощью электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26». У студентов контрольной группы регистрация ЭЭГ проведена до и после двухчасового отдыха в неработающей спелеокамере. Индексы соотношения ритмов ЭЭГ были рассчитаны как отношения мощностей отдельных ритмов: альфа/тета, альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1. Анализ полученных данных проведён с помощью программ Excel и IBM SPSS Statistics 26.0.

Результаты. Выявлены значимые изменения индекса альфа/тета ЭЭГ в отведениях P4, T6 и O2 под влиянием спелеопроцедуры, чего не наблюдалось в контрольной группе. Этот индекс оказался наиболее чувствительным для оценки влияния спелеотерапии на мозг человека.

Заключение. Из всех проанализированных индексов наиболее чувствительным для оценки влияния процедуры спелеотерапии на мозг человека является индекс альфа/тета, при этом значимых отличий по индексам альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 у испытуемых под влиянием спелеотерапии не выявлено, в то время как в контрольной группе наблюдались значимые изменения по данным индексам в отведении O2.

Ключевые слова: спелеотерапия; электроэнцефалография; ЭЭГ; ритм; мощность; индекс; альфа/тета.

Как цитировать:

Семилетова В.А., Дорохов Е.В., Булгакова Я.В. Влияние кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов электроэнцефалограммы здорового человека // Экология человека. 2023. Т. 30, № 3. С. 223–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco192536>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco192536>

Effects of short-term speleotherapy exposure on the bioelectric activity of a healthy brain

Vera A. Semiletova¹, Eugene V. Dorohov¹, Yaroslava V. Bulgakova²

¹ Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russian Federation;

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Speleotherapy is a non-drug therapeutic approach that involves spending time in underground caves or mines with health promotion purpose. However, adaptation mechanisms of the human body and the effects of speleotherapy in healthy brain remain largely unknown.

AIM: To study changes in the functional state of the brain of a healthy person in terms of EEG activity parameters under the speleotherapy exposure.

MATERIALS AND METHODS: The study involved a group of 25 student volunteers who were informed about the study's purpose, agreed to participate in the experiment and signed the informed consent. In the experimental group, EEG registration was carried out before and after a 2-hour speleotherapeutic exposure using the "Encephalan-EEGR-19/26" electroencephalograph-recorder. In the control group, EEG was taken before and after a 2-hour rest in a switched off speleological chamber. EEG rhythm ratio indices were calculated as ratios of the power of alpha/theta, alpha/beta1, and (theta + alpha)/beta1 rhythms. Data analysis was carried out using MS Excel and IBM SPSS Statistics v. 26.0 software.

RESULTS: Significant changes in the EEG alpha/theta index in P4, T6 and O2 leads were observed in the experimental group, but not in the control group. The alpha/theta index appeared to be the most sensitive to speleotherapy. No other significant differences between the groups were found.

CONCLUSION: There were no significant differences in the alpha/beta1 and (theta + alpha)/beta1 indices in the subjects undergoing the speleotherapy procedure, while there were significant changes in these indices in O2 derivation in the control group. The alpha/theta index is the most sensitive indicator for assessing the effect of speleotherapy on the healthy human brain.

Keywords: speleotherapy; electroencephalography; EEG; rhythm; power; index; alpha/theta.

To cite this article:

Semiletova VA, Dorohov EV, Bulgakova YaV. Effects of short-term speleotherapy exposure on the bioelectric activity of a healthy brain. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(3):223–230. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco192536>

Received: 06.02.2023

Accepted: 15.04.2023

Published online: 26.05.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Спелеотерапия — один из комплексных немедикаментозных методов с доказанной эффективностью, обеспечивающих сохранение и укрепление здоровья человека [1–3]. Благоприятное воздействие спелеоклимата на организм связывают с уникальными климатическими условиями пребывания человека в спелеосреде: качеством воздуха (он насыщен аэрозолями с большим количеством положительных и особенно отрицательных аэроионов — натрия, магния, хлора и др.), пониженной температурой и повышенной влажностью, воздействием небольшого фона естественной радиации, положительным эмоциональным фоном [4].

Спелеокамеры функционируют во многих поликлиниках, санаториях, на производственных предприятиях. Взрослое и детское население активно оздоравливается после перенесённых сезонных вирусных бронхолёгочных заболеваний, проходит профилактическое лечение [5]. Изучаются тонкие механизмы воздействия спелеоклимата на организм человека, которые не являются столь уж однозначными. Например, динамику кардиоритма под влиянием спелеотерапии в 30% случаев сложно оценить как положительную (увеличение индекса напряжения (ИН), усиление влияния симпатической системы у симпатотоников и парасимпатической — у ваготоников и др.), при самооценке пациентом влияния на его организм спелеотерапии не всегда оценка бывает «хорошей» и «отличной» [4, 6, 7].

Показано, что одним из первых на изменение состава воздуха реагирует мозг человека, поэтому особенно интересным представляется исследовать изменения электрической активности головного мозга под влиянием кратковременного воздействия спелеотерапии. При этом полученные нами в более ранних исследованиях [5, 6] результаты изменения параметров электроэнцефалограммы (ЭЭГ) после процедуры спелеотерапии можно интерпретировать как состояние умеренного стресса. Так, выявлены изменения в мощности тета- и альфа-ритмов в затылочных и теменных отведениях под кратковременным влиянием спелеотерапии. После спелеовоздействия активность доминирующего в состоянии покоя правого полушария в большинстве областей снижалась. В функциональном состоянии покоя при закрытых глазах количество значимых корреляционных связей мощности тета-ритма снизилось после спелеотерапии как в правом, так и в левом полушарии головного мозга. При этом в правом полушарии после спелеопроцедуры количество значимых корреляционных связей осталось более высоким, чем в левом, что можно рассматривать также как состояние умеренного напряжения [6]. Однако соотношение ритмов ЭЭГ не рассматривалось, хотя именно индексы (альфа/бета, альфа + тета/альфа + бета, тета/бета) наиболее чувствительны к изменениям функционального состояния, отражают степень напряжения, уровень произвольного внимания, степень когнитивной нагрузки и утомления

человека, скорость протекания информационных процессов [8, 9].

Цель. Исследование влияния кратковременного воздействия спелеотерапии на соотношение ритмов ЭЭГ здорового человека.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 25 студентов-добровольцев II курса Воронежского государственного медицинского университета имени Н.Н. Бурденко, правши, возраст — 18–20 лет (15 человек экспериментальной группы и 10 человек контрольной группы). Рассчитанная по формуле Лера минимальная выборка для нашего исследования должна составлять 10 человек. Критерии включения в контрольную и экспериментальную группы: отсутствие острого периода вирусной или бактериальной инфекции, обострения хронических заболеваний, изменения анатомии носовых ходов.

Исследование соответствовало этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» с поправками 2013 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. Участники были информированы о цели исследования и добровольно подписали согласие на участие. Работа проведена в межсессионный период, все процедуры выполняли в первой половине дня (с 8:00 до 12:00).

У студентов экспериментальной группы запись ЭЭГ проведена до и после 2-часовой спелеотерапевтической процедуры, в состоянии функционального покоя с закрытыми глазами (по 60 с), с использованием малой спелеокамеры (на одного человека), с помощью электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» («Медиком», Россия), в 19 стандартных отведениях по международной схеме 10–20. Согласно проведённым в используемой спелеокамере замерам при выполнении исследований температура воздуха составляла 18–20 °С, относительная влажность воздуха — 65%, содержание отрицательных аэроионов — 987 е/см³, положительных аэроионов — 834 е/см³, радиационный фон — 17 мкР/час.

У студентов контрольной группы запись ЭЭГ проведена до и после двухчасового отдыха в неработающей спелеокамере, в состоянии функционального покоя с закрытыми глазами (по 60 с) с помощью электроэнцефалографа-регистратора «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» («Медиком», Россия), в 19 стандартных отведениях по международной схеме 10–20. Согласно проведённым в используемой спелеокамере замерам при выполнении исследований температура воздуха составляла 18–20 °С, относительная влажность воздуха — 65%, содержание отрицательных

аэроионов — 476 е/см³, положительных аэроионов — 323 е/см³, радиационный фон — 17 мкР/ч.

Полученные ЭЭГ были просканированы на наличие артефактов, которые устранялись вручную. Эпохи для анализа выбирали на основании отсутствия артефактов в записи. Длина одной эпохи — 5 с, количество эпох для анализа одной пробы — 5. Индексы соотношения ритмов ЭЭГ были рассчитаны как отношения мощностей отдельных ритмов: альфа/тета, альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 [8].

Статистическая обработка. Анализ полученных данных проведён с помощью программ Excel и IBM SPSS Statistics 26.0. Определена нормальность распределения признаков с использованием критерия Шапиро–Уилка. Поскольку полученные показатели в большинстве своём не имели нормального распределения, расчёт статистической значимости различий значений выполнен с использованием непараметрического критерия Уилкоксона для зависимых переменных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Статистический анализ индексов альфа/тета в контрольной группе по отдельным отведениям приведён в табл. 1. Значимых отличий по индексу альфа/тета до и после отдыха в этой группе не выявлено, что связано, на наш взгляд, с большой вариабельностью данного параметра у разных испытуемых. При этом слева наблюдалась тенденция к уменьшению медиан индексов альфа/тета в большинстве отведений, справа — в равной степени к уменьшению и к увеличению.

Выявлены статистически значимые изменения индексов альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 в затылочной

области справа под влиянием отдыха (контрольная группа). Их медианы увеличиваются ($p < 0,05$), интерквартильный размах также увеличивается (рис. 1). Можно утверждать, что под влиянием двухчасового отдыха в неработающей спелеокамере справа в затылочной области наблюдалось усиление медленно-волновой активности.

Статистический анализ индексов альфа/тета в экспериментальной группе по отдельным отведениям приведен в табл. 2. По сравнению с контрольной группой выявлены значимые отличия этих индексов справа в отведениях О2, Р4, Т6 ($p < 0,05$) под влиянием спелеотерапии.

Отметим, что медианы индексов альфа/тета справа в затылочной области увеличились под воздействием спелеоклимата, интерквартильный размах уменьшился ($p = 0,05$). Слева в затылочной области медианы индексов альфа/тета уменьшились, интерквартильный размах увеличился.

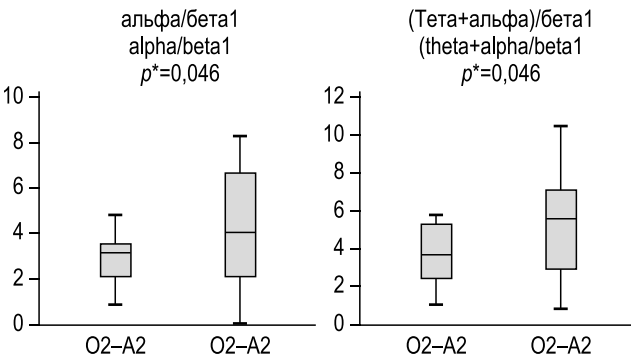


Рис. 1. Значимые (*) изменения индексов в затылочной области справа под влиянием отдыха (группа контроля).
Fig. 1. Significant (*) changes in the indices in the occipital region on the right in the control group.

Таблица 1. Индексы альфа/тета в контрольной группе, Ме [Q1–Q3]

Table 1. Alpha/theta indices in the control group, Me [Q1–Q3]

Отведения	До отдыха Before rest	После отдыха After rest	z	p
O2–A2	6,45 [0,95–8,12]	3,91 [3,28–9,95]	–0,280	0,779
O1–A1	5,32 [2,61–13,60]	3,98 [2,77–15,53]	–0,105	0,917
P4–A2	6,28 [1,81–11,38]	13,04 [2,16–15,55]	–1,478	0,139
P3–A1	6,26 [1,82–12,93]	3,03 [2,17–11,17]	–1,275	0,202
C4–A2	2,97 [1,79–6,89]	2,87 [0,98–6,51]	–0,459	0,646
C3–A1	3,65 [0,79–6,21]	2,66 [1,02–6,83]	–0,051	0,959
F4–A2	1,68 [0,67–4,52]	2,50 [1,13–3,94]	–1,58	0,114
F3–A1	1,96 [0,98–2,76]	1,31 [0,59–6,13]	–1,274	0,203
T6–A2	6,26 [1,45–15,25]	7,42 [2,70–8,23]	–0,459	0,646
T5–A1	5,90 [1,41–8,72]	1,99 [1,59–7,35]	–0,866	0,386
T4–A2	2,23 [1,85–6,35]	2,40 [1,67–2,62]	–0,968	0,333
T3–A1	1,44 [0,59–1,79]	1,45 [1,08–7,88]	–0,866	0,386
F8–A2	2,38 [1,82–6,24]	3,43 [0,99–5,13]	–0,153	0,876
F7–A1	1,69 [0,80–3,16]	1,05 [0,89–7,77]	–0,255	0,799

Таблица 2. Индексы альфа/тета в экспериментальной группе, Ме [Q1–Q3]**Table 2.** Alpha/theta indices in the experimental group, Me [Q1–Q3]

Отведения Leads	До сеанса спелеотерапии Before the speleotherapy session	После сеанса спелеотерапии After the speleotherapy session	z	p
O2–A2	2,79 [1,92–4,83]	6,26 [3,65–10,72]	–1,82	0,050*
O1–A1	6,25 [2,64–14,39]	3,38 [1,43–6,61]	–1,68	0,093
P4–A2	2,97 [1,28–4,73]	5,36 [3,53–7,39]	–1,82	0,050*
P3–A1	3,65 [1,53–5,12]	2,01 [1,08–3,68]	–1,10	0,263
C4–A2	1,46 [1,18–4,38]	1,76 [1,65–5,12]	–0,840	0,401
C3–A1	2,09 [1,31–4,02]	1,97 [1,01–4,11]	–0,140	0,889
F4–A2	1,24 [1,06–5,44]	1,99 [1,21–5,42]	–0,560	0,570
F3–A1	2,21 [0,91–4,06]	1,79 [1,05–4,96]	–0,420	0,674
T6–A2	7,06 [5,47–8,36]	3,18 [1,89–5,03]	–2,54	0,012*
T5–A1	1,69 [1,17–4,50]	6,03 [1,51–11,83]	–1,752	0,080
T4–A2	2,60 [1,43–5,29]	1,40 [1,27–2,24]	–0,980	0,327
T3–A1	1,48 [1,05–2,96]	1,46 [1,18–3,41]	–0,560	0,575
F8–A2	2,17 [1,18–6,59]	1,21 [0,82–3,92]	–0,840	0,401
F7–A1	1,54 [0,86–4,82]	2,05 [1,46–4,55]	–0,701	0,481

Примечание: * — различия статистически значимы.

Note: * — statistically significant differences.

Медианы индексов альфа/тета справа и слева в височных областях Т6 и Т5 изменились: справа Ме уменьшилась ($p=0,012$), слева — увеличилась; интерквартильный размах справа уменьшился, слева — увеличился. Медиана индекса альфа/тета справа в теменной области Р4 увеличилась ($p=0,05$), интерквартильный размах также увеличился.

Наибольшие изменения индекса альфа/тета отмечены в следующих областях: О1, О2, Т5, Т6, Р4 (рис. 2).

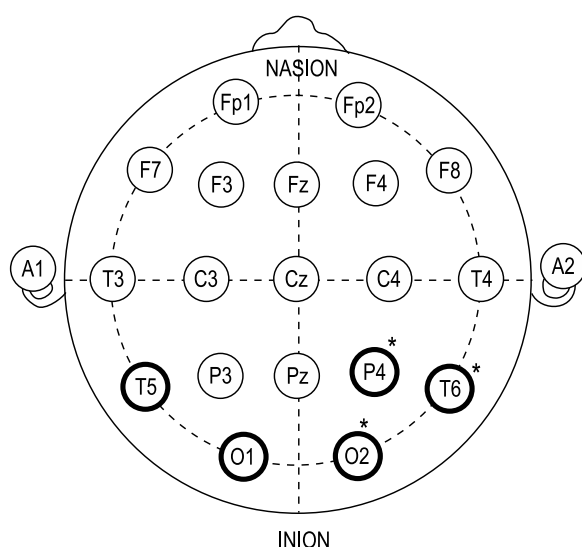


Рис. 2. Области изменения индексов альфа/тета под влиянием сеанса спелеотерапии (экспериментальная группа).

Fig. 2. Areas of change in the alpha/theta indices in the experimental group.

Статистически значимых отличий по индексам альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 у испытуемых под влиянием двухчасовой процедуры спелеотерапии не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

В работах многих авторов показано, что интегральные показатели (индексы) ЭЭГ чувствительны в оценке функционального состояния человека при воздействии в том числе восстановительных немедикаментозных методов. Так, И.С. Поликановой и А.В. Сергеевым [9] установлено более значимое изменение индекса (альфа + тета)/бета после длительной когнитивной нагрузки по сравнению с индексами альфа/тета, бета/альфа.

В нашем исследовании у студентов контрольной группы после двухчасового отдыха выявлены изменения индексов альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 в затылочной области справа, что может характеризовать эти индексы как чувствительные к процессу релаксации и напряжения, а в данном случае — отражать усиление медленно-волновой активности ЭЭГ под влиянием двухчасового отдыха.

В нашей работе также показано, что под влиянием спелеоклимата наиболее сильно изменяется по сравнению с другими индексами (альфа/бета, (альфа + тета)/(альфа + бета), тета/бета) индекс альфа + тета. Следовательно, именно его можно считать наиболее чувствительным для оценки влияния однократного воздействия спелеотерапии на мозг человека. Индекс альфа + тета показал ослабление медленно-волновой активности справа в отведениях О2, Р4 и её усиление в отведении Т6.



Рис. 3. Один из возможных механизмов изменения тета-активности под влиянием спелеопроцедуры.

Fig. 3. One of potential mechanisms for changing theta activity by speleotherapy.

Рассмотрим возможный механизм влияния спелеоклимата на ЭЭГ человека. Происхождение альфа-ритма на ЭЭГ связывают с таламусом. По топографии это преимущественно теменно-затылочный ритм. Любое увеличение сигнала на сенсорном входе должно подавить соответствующий альфа-ритм. Скорость угасания альфа-ритма при предъявлении сигналов разной модальности зависит от значимости стимула и от внутреннего состояния организма, в связи с чем она может быть индикатором функционального состояния мозга [10]. Соответственно, это объясняет возможность уменьшения индекса альфа/тета в отведении Т6 под воздействием спелеоклимата, однако не объясняет увеличения этого индекса в отведениях О2 и Р4, а также больший эффект от аэроионов справа.

Мощность альфа-активности обратно пропорционально коррелирует с метаболической деятельностью в соответствующей корковой области, приводя к функциональному объяснению альфа-ритмов как нерабочих (ритмов расслабления и «холостого хода») [10], что объясняет усиление медленно-волновой активности ЭЭГ под влиянием двухчасового отдыха (контрольная группа). Уменьшение же бета1-активности можно в данном случае (под влиянием отдыха) рассматривать как отсроченный маркер корковой активации, снижения внешнего возбуждения и уменьшения внутреннего торможения.

Тета-ритм связывают с работой гиппокампа, а также рассматривают как вариант работы таламуса: дезактивация глутаматергических нейронов ведёт к гиперполяризации и переводит таламические нейроны на генерацию тета-ритма. Показано также, что стимуляция ретикулярной формации стимулами разной природы приводит к увеличению частоты залпов септальных нейронов (нейронов перегородки) и мощности тета-ритма в гиппокампе, что отражается на ЭЭГ [10]. В нашем случае спелеоклимат является достаточно значимым стимулом для активации ретикулярной формации головного мозга, играет роль и изменение метаболической активности коры. Всё это объясняет значимое увеличение тета-активности в отведении Т6 у участников экспериментальной группы (рис. 3). А конкурентные взаимоотношения альфа-ритма и тета-ритма в таламусе приводят к увеличению альфа-активности (как теменно-затылочного ритма, увеличивающегося

при закрытии глаз) и снижению тета-активности в отведениях О2 и Р4 (значимому увеличению индекса альфа/тета под влиянием спелеопроцедуры).

Воздействие спелеоклимата на человека рассматривают как влияние на организм умеренного стрессорного фактора, к которому за 10 дней спелеотерапии происходит адаптация через классические стадии стресса по Селье: тревоги и резистентности. Такое воздействие в конечном счёте полезно, поскольку стимулирует повышение резервов организма [11]. В нашем случае за два часа спелеопроцедуры происходит первичный запуск механизмов адаптации организма к комплексу факторов, включая действие положительных и отрицательных аэроионов. Согласно концепции общего адаптационного синдрома (Ф.З. Меерсон [12]), эти изменения отражают стадию срочной адаптации. Развивается стресс-реакция, которая характеризуется мобилизацией функциональных систем, ответственных за адаптацию. Именно этот эффект мы наблюдаем на ЭЭГ.

Известно, что при стрессе активируются диэнцефальные системы и симпатическая нервная система, их активность приводит к увеличению активности правого полушария [13]. Динамика межполушарного доминирования и инверсия межполушарных отношений имеют место при смене функциональных состояний (в частности, когда наблюдается переход от относительно комфортного существования к стрессу). Чаше в данном случае происходит переход от левополушарной к правополушарной активации [14]. В нашем случае значимые изменения ЭЭГ-активности под влиянием спелеоклимата в экспериментальной группе наблюдались как раз справа.

ЭЭГ-показатели испытуемых экспериментальной группы после спелеотерапии свидетельствовали, с одной стороны, об изменении электроэнцефалогической картины [15, 16], что проявилось в увеличении мощности альфа- и одновременно — в уменьшении мощности тета-диапазонов в спектре ЭЭГ; но, с другой стороны, улучшение общей картины ЭЭГ происходило на фоне умеренного стресса, вызванного действием спелеоклимата, что не противоречит литературным данным по общим источникам формирования ритмов ЭЭГ и классической адаптационной теории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под влиянием двухчасовой спелеопроцедуры у испытуемых выявлены значимые изменения индекса альфа/тета ЭЭГ в отведениях Р4, Т6 и О2, чего не наблюдалось в контрольной группе. Значимых отличий по индексам альфа/бета1 и (тета + альфа)/бета1 у испытуемых под влиянием процедуры спелеотерапии не выявлено, в то же время наблюдались значимые изменения по данным индексам в отведении О2 в контрольной группе. Наиболее чувствительным из проанализированных индексов для оценки влияния процедуры спелеотерапии на мозг человека является индекс альфа/тета.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: В.А. Семилетова внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, подготовила первый вариант статьи;

Е.В. Дорохов существенно переработал рукопись на предмет важного интеллектуального содержания, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Я.В. Булгакова внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования. 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).

Authors' contribution: V.A. Semiletova, E.V. Dorohov, Ya.V. Bulgakova 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).

Источник финансирования. Исследование не получало финансовой поддержки.

Funding sources. No external funding.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бохан А.Н., Владимирский Е.В., Горбунов Ю.В. и др. Объективная оценка применения спелеоклиматических камер из природного силвинита в профилактике и лечении // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021. Т. 98, № 3-2. С. 51-52. doi: 10.17116/kurort20219803221
2. Mełel S., Kostrzon M., Adamiak J., et al. The influence of speleotherapy combined with pulmonary rehabilitation on functional fitness in older adults — preliminary report // Ther Adv Respir Dis. 2020. Vol. 14. P. 1753466620926952. doi: 10.1177/1753466620926952
3. Rogula-Kozłowska W., Kostrzon M., Rogula-Kopiec P., Badyda A.J. Particulate matter in the air of the underground chamber complex of the wieliczka salt mine health resort // Adv Exp Med Biol. 2017. Vol. 955. P. 9-18. doi: 10.1007/5584_2016_176
4. Файнбург Г.З., Михайловская Л.В. Воздействие калийно-магневых соляных аэродисперсных воздушных сред на организм человека // Безопасность и охрана труда. 2021. № 4. С. 65-70. doi: 10.54904/52952_2021_4_65
5. Семилетова В.А., Дорохов Е.В. Самооценка влияния спелеоклиматотерапии на организм человека // Интегративная физиология. 2021. Т. 2, № 4. С. 420-425. doi: 10.33910/2687-1270-2021-2-4-420-425
6. Семилетова В.А., Дорохов Е.В. Эффект кратковременного влияния спелеоклиматотерапии на ЭЭГ человека. В кн.: Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магневых солей: Материалы II Международной научно-практической конференции; Пермь, 21-22 октября 2021 года; Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2021. С. 320-334.
7. Есауленко И.Э., Дорохов Е.В., Горбатенко Н.П., и др. Эффективность спелеоклиматотерапии у студентов в состоянии хронического стресса // Экология человека. 2015. Т. 22, № 7. С. 50-57. doi: 10.17816/humeco17000
8. Поликанова И.С., Коршунов А.В., Леонов С.В., Веракса А.Н. Ассоциация рецептора к дофамину второго типа (DRD2) с развитием утомления в результате длительной когнитивной нагрузки // Национальный психологический журнал. 2016. № 3. С. 115-126. doi: 10.11621/npj.2016.0314
9. Поликанова И.С., Сегреев А.В. Влияние длительной когнитивной нагрузки на параметры ЭЭГ // Национальный психологический журнал. 2014. № 1. С. 84-92. doi: 10.11621/npj.2014.0109
10. <https://cmi.to/> [Internet] CMI Brain Research. Center for medical information. Направление электрофизиологии НЦИЛС. [дата обращения: 31.03.2023]. Доступ по ссылке: <https://cmi.to/>
11. Михайлова Н.Л. Особенности электрической активности правого и левого полушарий головного мозга у лиц с разным профилем моторной асимметрии и ее связь с состоянием сердца в покое и после физической нагрузки // Ульяновский медико-биологический журнал. 2011. № 2. С. 147-155.
12. Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика. Москва: Наука, 1981. 278 с.
13. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д. Нейрофизиологические проявления состояния монотонии у операторов с различной межполушарной асимметрией альфа-активности // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2014. Т. 64, № 4. С. 428.
14. Луценко Е.Л. Физиологическая психофизиология Особенности межполушарной асимметрии индекса альфа-ритма у студентов // Вестник психофизиологии. 2013. № 2. С. 34-40.
15. Игошина Т.В., Счастливец Д.В., Котровская Т.И., Бубеев Ю.А. Динамика ЭЭГ-паттернов при коррекции стресс-реакций методом ингаляции ксенона // Вестник восстановительной медицины. 2017. № 1. С. 116-121.

16. Балабанова В.А., Киселев Д.А., Лайшева О.А. Оценка изменения функционального состояния ЦНС у больных с двигательными нарушениями по данным математического анализа

ЭЭГ до и после восстановительной терапии по методу функциональной двигательной регуляции // Детская больница. 2012. № 1. С. 29–34.

REFERENCES

1. Bokhan AN, Vladimirskii EV, Gorbunov YuV, et al. Ob'ektivnaya otsenka primeneniya speleoklimaticheskikh kamer iz prirodnogo sil'vinita v profilaktike i lechenii. *Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy*. 2021;98(3-2):51–52. (In Russ). doi: 10.17116/kurort20219803221
2. Mełel S, Kostrzon M, Adamiak J, et al. The influence of speleotherapy combined with pulmonary rehabilitation on functional fitness in older adults — preliminary report. *Ther Adv Respir Dis*. 2020;14:1753466620926952. doi: 10.1177/1753466620926952
3. Rogula-Kozłowska W, Kostrzon M, Rogula-Kopiec P, Badyda AJ. Particulate matter in the air of the underground chamber complex of the wieliczka salt mine health resort. *Adv Exp Med Biol*. 2017;955:9–18. doi: 10.1007/5584_2016_176
4. Fainburg GZ, Mikhailovskaya LV. Impact effects of potassium-magnesium salts aerodispersed air media per human body. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2021;(4):65–70. (In Russ).
5. Semiletova VA, Dorokhov EV. Self-assessment of the influence of speleoclimatotherapy on the human body. *Integrative Physiology*. 2021;2(4):420–425. (In Russ). doi: 10.33910/2687-1270-2021-2-4-420-425
6. Semiletova VA, Dorokhov EV. Effekt kratkovremennogo vliyaniya speleoklimatoterapii na EEG cheloveka. In: *Aktual'nye problemy okhrany truda i bezopasnosti proizvodstva, dobychi i ispol'zovaniya kaliino-magnievyykh solei: materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*; Perm', 2021 Oct 21–22; Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet; 2021. P. 320–334. (In Russ).
7. Esaulenko IE, Dorokhov EV, Gorbatenko NP, et al. Efficacy of speleoclimatotherapy in students under chronic stress. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(7):50–57. (In Russ). doi: 10.17816/humeco17000
8. Polikanova IS, Korshunov AV, Leonov SV, Veraksa AN. Association to dopamine receptor D2 (DRD2) with developing fatigue as a result of long-term cognitive load. *National Psychological Journal*. 2016;(3):115–126. (In Russ). doi: 10.11621/npj.2016.0314
9. Polikanova IS, Sergeev AV. The effect of long-term cognitive load on the eeg parameters. *National Psychological Journal*. 2014;1:84–92. (In Russ).
10. <https://cmi.to/>[Internet]. *CMi Brain Research. Center for medical information. Direction of electrophysiology NCILS*. [cited 31 March 2023]. Available from: <https://cmi.to/>
11. Mikhailova NL. Features of electrical activity in right and left hemispheres of the brain in individuals with different profiles of motor asymmetry and its relationship with the state of the heart at rest and during exercise. *Ul'yanovskii mediko-biologicheskii zhurnal*. 2011;(2):147–155. (In Russ).
12. Meerson FZ. *Adaptacija, stress i profilaktika*. Moscow: Nauka; 1981. 278 p. (In Russ).
13. Lebedeva NN, Karimova ED. Neirofiziologicheskie proyavleniya sostoyaniya monotonii u operatorov s razlichnoi mezhpolusharnoi asimmetrii al'fa-aktivnosti. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti imeni I.P. Pavlova*. 2014;64(4):428. (In Russ). doi: 10.7868/S0044467714040108
14. Lutsenko EL. Fiziologicheskaya psikhofiziologiya. Osobennosti mezhpolusharnoi asimmetrii indeksa al'fa-ritma u studentov. *Psychophysiology News*. 2013;(2):34–40. (In Russ).
15. Igoshina TV, Schastlivtseva DV, Kotrovskaya TI, Bubeev YuA. EEG dynamics in the elimination of stress reactions by inhalation of xenon. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2017;(1):116–121. (In Russ).
16. Balabanova VA, Kiselev DA, Laisheva OA. Evaluation of changes in CNS functional status in patients with disordered motor function based on a mathematical analysis of EEG data prior to and after rehabilitation therapy according to the method of functional regulation of movements. *Detskaya bol'nitsa*. 2012;(1):29–34. (In Russ).

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ОБ АВТОРАХ

* Семилетова Вера Алексеевна, к.б.н., доцент;
адрес: Россия, 394036, Воронеж, ул. Студенческая, д. 10;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7802-6436>;
eLibrary SPIN: 8330-0064;
e-mail: vera2307@mail.ru

Дорохов Евгений Владимирович, к.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2096-411X>;
eLibrary SPIN: 7464-1264;
e-mail: dorofov@mail.ru

Булгакова Ярослава Викторовна, к.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8665-0167>;
eLibrary SPIN: 6903-1375;
e-mail: yaroslava.v.bulgakova@mail.ru

AUTHORS' INFO

Vera A. Semiletova, Cand. Sci. (Biol.), associate professor;
address: 10 Studencheskaja street, 394036 Voronezh, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7802-6436>;
eLibrary SPIN: 8330-0064;
e-mail: vera2307@mail.ru

Eugene V. Dorokhov, MD, Cand. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2096-411X>;
eLibrary SPIN: 7464-1264;
e-mail: dorofov@mail.ru

Yaroslava V. Bulgakova, MD, Cand. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8665-0167>;
eLibrary SPIN: 6903-1375; e-mail: yaroslava.v.bulgakova@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco312586>

Функциональная активность головного мозга у пожилых женщин Арктической зоны Российской Федерации с различным вегетативным тонусом

А.В. Грибанов¹, Т.П. Ширяева¹, И.Л. Фатеева², Д.М. Федотов^{1, 3},
О.С. Преминина¹, Т.В. Аношина¹

¹ Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Российская Федерация;

² Новодвинский детский дом-интернат для детей с серьезными нарушениями в интеллектуальном развитии, Новодвинск, Российская Федерация;

³ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель. Выявить характерные особенности мозговой активности по данным распределения уровня постоянного потенциала (УПП) при различном уровне вегетативного тонуса у женщин пожилого возраста, проживающих в Арктической зоне РФ.

Материалы и методы. В поперечном одномоментном исследовании рассмотрены различия показателей УПП у женщин 60–74 лет ($n=121$), постоянно проживающих на территории Арктической зоны РФ, которых разделили на три группы с различным уровнем вегетативного тонуса: ваготоники, нормотоники, симпатотоники. Регистрацию УПП головного мозга проводили с помощью 12-канального аппаратно-программного диагностического комплекса «Нейро-КМ». Вегетативную регуляцию сердечного ритма оценивали с применением аппаратного комплекса «ВНС-спектр».

Результаты. Выявлены более высокие суммарные и средние показатели энергетических затрат головного мозга у женщин группы симпатотоников по сравнению как с нормотониками, так и с ваготониками. По всем монополярным отведениям наблюдалась чёткая тенденция к увеличению нейроэнергеметаболизма головного мозга у пожилых женщин с преобладающей активностью симпатического отдела ВНС. Определено нарушение принципа куполообразности у симпато- и ваготоников. В группе нормотоников и ваготоников ведущими являются факторы функциональной активности центральной и лобной областей головного мозга, в то время как в группе симпатотоников наибольший удельный вес определён у факторов, определяющих мозговую активность правой височной и лобной областей.

Заключение. Исследование функциональной активности головного мозга у женщин пожилого возраста с различным вегетативным тонусом продемонстрировало наличие специфических изменений в распределении уровня постоянного потенциала для каждого типа вегетативного тонуса. Наиболее выраженные изменения отмечены у женщин с симпатотоническим типом ВНС, что может характеризовать процессы незавершённой адаптации.

Ключевые слова: женщины пожилого возраста; уровень постоянного потенциала; функциональная активность головного мозга; вегетативная нервная система; вегетативный тонус.

Как цитировать:

Грибанов А.В., Ширяева Т.П., Фатеева И.Л., Федотов Д.М., Преминина О.С., Аношина Т.В. Функциональная активность головного мозга у пожилых женщин Арктической зоны Российской Федерации с различным вегетативным тонусом // Экология человека. 2023. Т. 30, № 3. С. 231–240. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco312586>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco312586>

Functional activity of the brain among elderly women with different autonomic tones in the Arctic zone of the Russian Federation

Anatoliy V. Gribanov¹, Taisiia P. Shiryayeva¹, Irina L. Fateeva², Denis M. Fedotov^{1, 3}, Oksana S. Preminina¹, Tatiana V. Anoshina¹

¹ Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation;

² Novodvinsk Orphanage for Children with Intellectual Disabilities, Novodvinsk, Russian Federation;

³ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: To identify the distinctive features of brain activity based on the distribution of DC-potential levels among elderly women across different autonomic tones in the Russian Arctic.

MATERIALS AND METHODS: In total, 121 60–74 years old women permanently living in Arctic Russia participated in a cross-sectional study. Differences in the indicators of DC-potential levels were measured in three groups of elderly women with different levels of autonomic tone, namely, in vagotonics, normotonics and sympathotonics. Registration of the DC-potential levels of the brain was carried out using a 12-channel “Neuro-KM” diagnostic equipment. The assessment of the autonomic regulation of the heart rate was carried out using the “VNS-spectrum” equipment.

RESULTS: Greater total and average indicators of DC-potential distribution were observed in the sympathotonic group compared with the two other groups. For all monopolar leads, a clear trend towards an increase in neuroenergometabolism of the brain in elderly women with predominant activity of the sympathetic part of the ANS was observed. The dome-shaped principle was violated in both sympathotonics and vagotonics. In the group of normotonics and vagotonics, the leading factors were the functional activity of the central and frontal regions of the brain, while in the group of sympathotonics, the greatest proportion was determined by the factors regulating brain activity of the right temporal and frontal regions.

CONCLUSION: The study of the functional activity of the brain in elderly women with different autonomic tones demonstrates the presence of specific changes in the distribution of values of the constant potential level, which may indicate some change in the mechanisms characterizing the state of cerebral energy exchange. The most pronounced changes were observed in women with the sympathotonic type of ANS, which may characterize the processes of incomplete adaptation.

Keywords: elderly women; DC-potential level; functional activity of the brain; autonomic nervous system; autonomic tone.

To cite this article:

Gribanov AV, Shiryayeva TP, Fateeva IL, Fedotov DM, Preminina OS, Anoshina TV. Functional activity of the brain among elderly women with different autonomic tones in the Arctic zone of the Russian Federation. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(3):231–240. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco312586>

ОБОСНОВАНИЕ

Пожилой возраст является кризисным периодом в жизни человека [1]. Женщины, в отличие от мужчин, проходят через первый этап геронтогенеза гораздо сложнее, что обусловлено сочетанием психосоциальных и гормональных изменений [2, 3]. Известно также, что нейрорегуляторные и нейроэнергетические возможности головного мозга истощаются в ситуации полимодального и затяжного стресса гораздо быстрее, и это обуславливает напряжение всех функциональных систем организма [4].

В процессе старения организма роль вегетативной нервной системы (ВНС) увеличивается [5] и подверженность пожилых женщин психогенно-обусловленным вегетативным нарушениям только растёт. Исследование взаимосвязи вегетативного тонуса и нейроэнергетического обмена становится особенно актуальным в плане изучения механизмов старения человека, так как геронтологи видят в изменении гомеостаза важный инволютивный физиологический признак [6, 7].

Тонус ВНС является одним из проявлений и одновременно механизмов стабилизации гомеостатического состояния человека [8]. Во многих исследованиях отмечается, что основное функциональное назначение ВНС заключается в возможности сохранения параметров различных систем организма в рамках гомеостатических показателей [9, 10]. Так, ВНС влияет на постоянство внутренней среды, участвует в поддержании определённого уровня психической и физической активности [11], оказывает значительное воздействие на адаптационные возможности и приспособительные реакции организма в целом [12].

Центры управления ВНС находятся в центральных и периферических отделах нервной системы человека, а от их совместной работы зависит автономность многих систем организма, в том числе и регуляция тонуса стенок сосудов кровеносной системы головного мозга [13]. Соответственно, можно предположить, что вегетосудистые изменения будут оказывать существенное влияние на процесс энергетического обеспечения головного мозга человека.

В настоящее время для исследования интенсивности некоторых церебральных биохимических процессов, связанных в первую очередь с энергетическим обменом, применяют различные методы: позитронно-эмиссионную томографию, однофотонную эмиссионную компьютерную томографию, магнитно-резонансную томографию и некоторые другие [14]. Это дорогостоящие и сложные в подготовке к исследованию методы. В то же время применение метода нейроэнергокартирования с регистрацией уровня постоянного потенциала (УПП) безопасно, неинвазивно, занимает немного времени для диагностики и интерпретации результатов исследования. УПП представляет собой медленно меняющийся потенциал милливольтного диапазона, интегрально отражающего мембранные

потенциалы нейронов, глии и гематоэнцефалического барьера, коррелирующего с кислотно-щелочным равновесием, что позволяет оценить нейроэнергетический метаболизм головного мозга [7].

В настоящее время имеется незначительное количество работ, посвящённых взаимодействию мозговой активности, выявленному по данным УПП, у лиц пожилого возраста, проживающих в Арктической зоне РФ [6, 15, 16]. Настоящая работа посвящена установлению особенностей мозговой активности при различном тоне ВНС как модулирующего и координирующего центра для всех физиологических адаптационных процессов, протекающих в организме стареющего человека.

Цель исследования. Выявить характерные особенности мозговой активности по данным распределения уровня постоянного потенциала при различном уровне вегетативного тонуса у женщин пожилого возраста, проживающих в Арктической зоне РФ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В поперечном одномоментном исследовании приняли участие женщины 60–74 лет ($n=121$, средний возраст — $68,6 \pm 2,2$ года), проживающие на территории Арктической зоны РФ. Исследование осуществляли при получении информированного согласия участниц. Из исследовательской выборки были исключены испытуемые, которые в анамнезе имели инфаркт миокарда, мерцательную аритмию, нарушения мозгового кровообращения, черепно-мозговые травмы, нейродегенеративные заболевания.

Исследование мозговой активности проводили методом нейроэнергокартирования, заключающегося в регистрации УПП, который характеризует метаболические процессы. Главной особенностью метода УПП является то, что он основан на детекции изменений сверхмедленной электрической активности головного мозга. УПП регистрировали с помощью 12-канального аппаратно-программного диагностического комплекса «Нейро-КМ» («Статокин», Россия) [7, 13, 15]. Регистрация УПП велась монополярно, электроды располагались на голове по международной системе 10–20. Референтный электрод располагался на запястье левой руки.

Вегетативный тонус определяли с помощью аппаратно-программного комплекса «ВНС-спектр» («Нейрософт», Россия). Участниц исследования с величиной индекса напряжения (ИН) менее 50 у.е. рассматривали как ваготоников (группа 1) ($n=36$, средний возраст — $68,7 \pm 2,1$ года), с ИН от 50 до 200 у.е. — нормотоников (группа 2) ($n=42$, средний возраст — $68,8 \pm 2,3$ года), с ИН более 200 у.е. — симпатотоников (группа 3) ($n=43$, средний возраст — $68,5 \pm 2,3$ года) [17–19]. Сравниваемые нами группы не имели статистически значимых различий по календарному возрасту.

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью пакета прикладных программ SPSS 26.0

для Windows. Нормальность распределения признаков в группах оценивали с использованием критерия Шапиро–Уилка. При выявлении различий между сравниваемыми группами по качественным показателям применяли критерий Краскела–Уоллиса. Для описательной статистики признаков использовали медиану (Me) и интервал значений от 1-го (Q1) до 3-го квартиля (Q3). Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в исследовании принимали как $p < 0,017$. Для построения факторных моделей показателей УПП головного мозга у женщин исследуемых групп проведён факторный анализ с использованием ортогонального вращения по методу варимакс, нижнюю границу коэффициента значимости для переменных принимали равной 0,6.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведённого исследования выявлены статистически значимые различия между показателями УПП в группах нормотоников и симпатотоников, а также

симпатотоников и ваготоников. В свою очередь значимые различия между исследуемыми показателями у групп нормотоников и ваготоников отсутствовали как по отдельным отведениям, так и по суммарным и средним значениям (табл. 1).

В результате анализа данных выявлены более высокие суммарные (Sum) энергетические затраты головного мозга у женщин группы симпатотоников (на 25,19%) по сравнению с женщинами группы нормотоников, а при сравнении групп симпатотоников и ваготоников — более высокие (на 24,8%) показатели УПП у первых ($p=0,001$ и $p=0,003$ соответственно) (рис. 1).

Средние значения УПП ($\bar{X}_{cp}$) симпатотоников оказались выше как по сравнению с нормотониками — на 24,96% ($p=0,001$), так и с ваготониками — на 24,7% ($p=0,003$).

По всем монополярным отведениям наблюдалась чёткая тенденция к увеличению нейроэнергометаболизма головного мозга у пожилых женщин с преобладающей активностью симпатического отдела ВНС, т.е. в группе

Таблица. 1. Уровень постоянного потенциала головного мозга пожилых женщин с различным вегетативным тонусом, mV (Me (Q1–Q3))

Table 1. DC-potential level of brain in elderly women with different autonomic tone, mV (Me (Q1–Q3))

Отведения Lead	Группа 1 (симпатотоники) Group 1 (Sympathotonics) ($n=43$)	Группа 2 (нормотоники) Group 2 (Normotonics) ($n=42$)	Группа 3 (ваготоники) Group 3 (Vagotonics) ($n=36$)	p	p_{1-2}	p_{2-3}	p_{1-3}
Fpz	11,38 (4,36–16,84)	10,67 (6,17–17,9)	9,90 (6,19–16,08)	0,795			
Fd	13,57 (8,47–22,98)	8,72 (4,60–14,75)	6,84 (5,17–12,12)	0,002	0,003	0,499	0,002
Fs	15,98 (8,94–22,83)	10,12 (4,36–13,51)	7,21 (3,67–20,27)	0,002	0,001	0,916	0,007
Cd	18,22 (14,81–23,17)	16,48 (9,92–21,12)	14,93 (9,44–22,88)	0,173			
Cz	19,23 (16,18–24,99)	15,55 (10,79–22,05)	16,90 (11,66–24,63)	0,109			
Cs	17,55 (13,15–22,31)	15,73 (10,14–19,54)	14,84 (8,35–22,12)	0,289			
Pd	17,33 (11,15–21,24)	16,50 (7,35–19,24)	14,60 (6,96–19,89)	0,163			
Pz	17,04 (12,27–20,29)	17,34 (11,74–21,42)	12,22 (8,17–20,36)	0,118			
Ps	16,89 (10,63–21,09)	16,67 (7,77–20,53)	12,39 (5,74–20,73)	0,162			
Oz	16,49 (11,53–20,89)	14,43 (10,20–18,37)	12,80 (8,31–18,73)	0,104			
Td	15,51 (10,07–21,83)	9,0 (5,56–11,63)	11,55 (4,77–19,31)	0,001	0,001	0,284	0,057
Ts	16,82 (7,48–20,22)	11,18 (5,95–15,33)	12,66 (6,11–18,74)	0,036	0,009	0,277	0,197
Sum	205,77 (163,50–226,95)	164,36 (128,69–185,09)	154,68 (103,10–208,10)	0,001	0,001	0,568	0,003
$\bar{X}_{cp} / \bar{X}_{av}$	17,12 (13,62–18,91)	13,70 (10,64–15,42)	12,89 (8,59–17,33)	0,001	0,001	0,568	0,003

Примечание: Fpz — лобное центральное отведение, Fd — правое лобное отведение, Fs — левое лобное отведение; Cz — центральное отведение, Cd — правое центральное отведение, Cs — левое центральное отведение; Pz — центральное теменное отведение, Pd — правое теменное отведение, Ps — левое теменное отведение; Oz — затылочное отведение; Td — правое височное отведение, Ts — левое височное отведение. Sum — суммарные значения УПП по 12 отведениям; $\bar{X}_{cp}$ — среднее значение УПП по 12 отведениям.

Note: Fpz — frontal central lead, Fd — right frontal lead, Fs — left frontal lead; Cz — central lead, Cd — right central lead, Cs — left central lead; Pz — central parietal lead, Pd — right parietal lead, Ps — left parietal lead; Oz — occipital assignment; Td — right temporal lead, Ts — left temporal lead. Sum — sum of all values for 12 leads; $\bar{X}_{av}$ is the average value for all 12 leads.

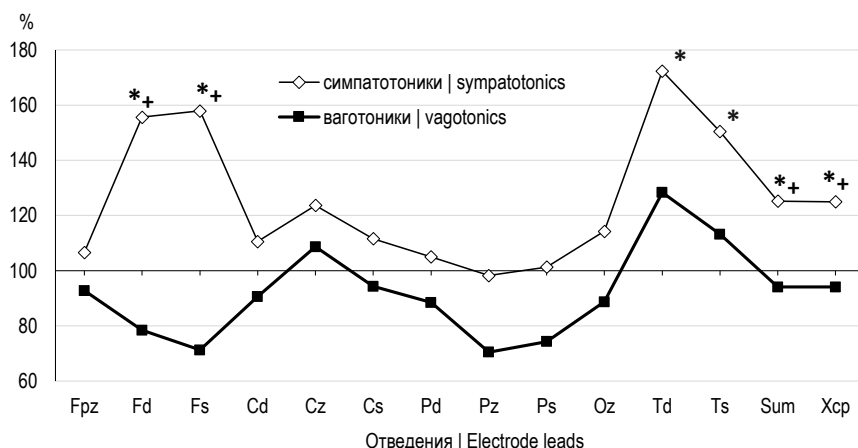


Рис. 1. Профиль распределения значений уровня постоянного потенциала в группах пожилых женщин с различным вегетативным тонусом: * статистически значимые различия между группами симпатотоников и нормотоников; + статистически значимые различия между группами симпатотоников и ваготоников.

Fig. 1. Distribution of the DC-potential level in elderly women with different autonomic tone: * statistically significant differences between sympatotonics and normotonics; + statistically significant differences between sympatotonics and vagotonics.

симпатотоников. Между группами нормотоников и симпатотоников в нейроэнергообмене головного мозга по монополярным отведениям обнаружены значимые различия в лобной и височных областях. Так, в лобной области показатели УПП симпатотоников оказались значимо выше в правом (Fd) и левом (Fs) лобных отведениях — на 55,62 и 57,91% ($p=0,003$; $p=0,001$ соответственно), в правой (Td) и левой (Ts) височных областях исследуемые показатели оказались выше на 72,33 и 50,45% ($p=0,001$; $p=0,009$ соответственно) по сравнению с показателями нормотоников.

Значимые различия между группами симпатотоников и ваготоников были обнаружены в лобных областях в правом (Fd) и левом (Fs) отведениях. Так, симпатотоники продемонстрировали более высокие исследуемые показатели по сравнению с ваготониками — на 49,6 и 54,9% ($p=0,002$; $p=0,007$) соответственно.

Кроме того, из-за высоких значений УПП в височных отделах и низких — в лобных и теменных у ваготоников, а также чрезмерно высоких значений в лобных и височных отделах у симпатотоников у этих исследуемых наблюдается нарушение нормальности распределения УПП. Данный факт находит своё отражение в несоблюдении принципа «куполообразности», когда максимальные значения УПП наблюдаются в центральных отведениях, а затем снижаются к периферии [7, 20]. В наибольшей степени соответствуют этому принципу показатели нормотоников.

Проведённый факторный анализ также помог выявить некоторые характерные особенности УПП в исследуемых группах. На рис. 2 отражены полученные результаты распределения факторов в группе нормотоников.

Проведённый факторный анализ показал, что в группе женщин нормотоников 1-й фактор функциональной активности центральной области головного мозга, составляющий 30,37% дисперсии, включает в себя показатели Cz–Oz, Cz–Td, Cz–Ts, Cz–Xcp, Td–Xcp, которые характеризуют активность преимущественно в центральной,

а также в височных и затылочной областях головного мозга.

2-й фактор функциональной активности лобной области, удельный вес которого составил 26,40%, включает показатели Fz–Cz, Fz–Oz, Fz–Td, Fz–Ts, Fz–Xcp, отражающие активность в лобной и в меньшей степени — в височных и затылочной областях головного мозга.

3-й фактор функциональной активности височных областей (информативность — 24,03%) объединяет показатели Td–Ts, Oz–Ts, Ts–Xcp, Oz–Xcp и определяет энергетическую активность преимущественно в височных областях и в меньшей степени — в затылочной области головного мозга. Суммарная дисперсия составила 80,77%.

На рис. 3 отражены результаты факторного анализа в группе симпатотоников.

Проведённый факторный анализ показателей УПП головного мозга выявил, что в группе женщин-сим-

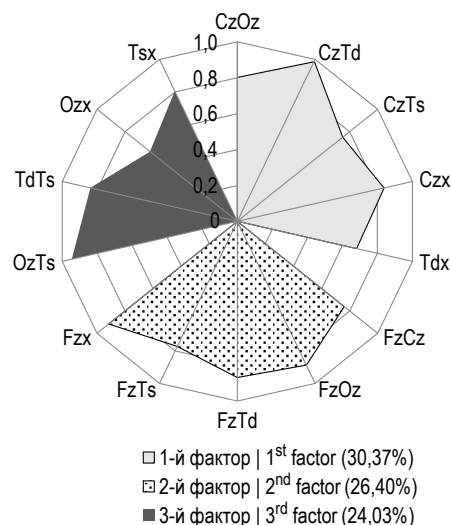


Рис. 2. Распределение уровня постоянного потенциала в группе нормотоников.

Fig. 2. Distribution of the DC-potential level of brain in normotonics.

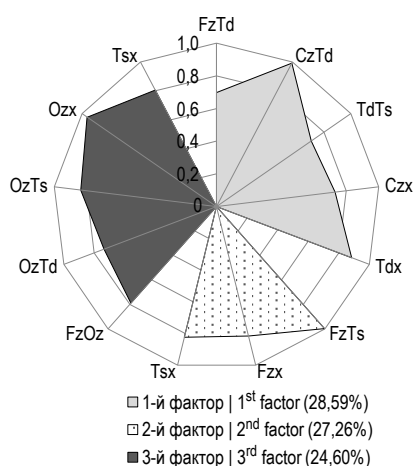


Рис. 3. Распределение уровня постоянного потенциала в группе симпатотоников.

Fig. 3. Distribution of the DC-potential level of brain in sympathotonics.

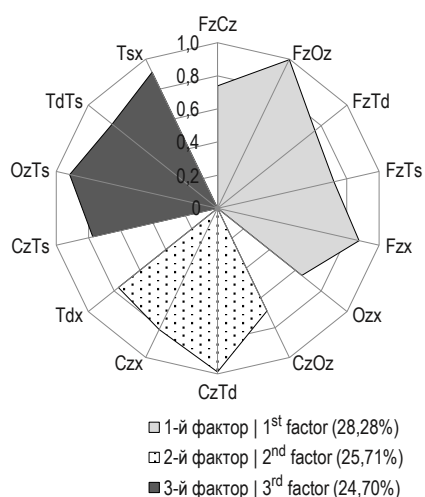


Рис. 4. Распределение уровня постоянного потенциала в группе ваготоников.

Fig. 4. Distribution of the DC-potential level of brain in vagotonics.

патотоников наиболее значимым фактором, информативность которого составила 28,59%, выступает фактор функциональной активности правой височной области, объединяющий показатели Fz–Td, Cz–Td, Td–Ts, Cz–Хср и Td–Хср, которые отражают нейроэнергетическую активность преимущественно в правой височной области, а также в лобной и центральной областях головного мозга.

Несколько менее весомым фактором (информативность — 27,26%) является фактор функциональной активности лобной области, объединяющий показатели Fz–Ts, Fz–Хср, Ts–Хср и характеризующий энергетическую активность в большей степени в лобной и в меньшей степени — в левой височной областях головного мозга.

Удельный вес 3-го фактора функциональной активности затылочной области составил 24,60%. В нём объединены показатели Fz–Oz, Oz–Td, Oz–Ts, Oz–Хср, Ts–Хср,

которые описывают энергетическую активность в затылочной, а также в лобной и височных областях. Суммарная дисперсия составила 80,45%.

На рис. 4 представлены результаты факторного анализа в группе ваготоников.

При рассмотрении результатов факторного анализа группы женщин-ваготоников установлено, что ведущим выступает фактор лобной активности (информативность — 28,28%), объединивший показатели Fz–Cz, Fz–Oz, Fz–Td, Fz–Ts, Fz–Хср и Oz–Хср, которые в свою очередь характеризуют активность в большей степени в лобной и в меньшей — в затылочной, височных и центральной областях головного мозга.

За ним расположился фактор функциональной активности центральной области (информативность — 25,71%), объединяющий показатели Cz–Oz, Cz–Td, Cz–Хср, Td–Хср, которые определяют активность преимущественно в центральной, а также в правой височной и затылочной областях головного мозга.

3-й фактор функциональной активности височных областей, насчитывающий 24,70% дисперсии, объединил показатели Cz–Ts, Oz–Ts, Td–Ts, Ts–Хср, описывающие активность энергообмена преимущественно в височных и в меньшей степени — в центральной и затылочной областях головного мозга. Суммарная дисперсия составила 78%.

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что вегетативный тонус является полифункциональным фактором, влияющим на большинство систем организма человека, в том числе и на работу сосудов мозга, а УПП в свою очередь принято считать маркером интенсивности потребления энергии в головном мозге [21].

Показатели УПП головного мозга группы нормотоников занимают промежуточные значения относительно показателей симпатотоников и ваготоников по суммарным, средним и монополярным отведениям УПП. Схожие данные были получены в рамках исследований и других возрастных групп людей, проживающих в условиях Арктической зоны РФ [19]. Установленный факт, по нашему мнению, объясняется наиболее сохранной регуляторной функцией ВНС относительно тонуса сосудистого русла всех областей головного мозга, от которого во многом зависят показатели энергетического метаболизма [22, 23].

Значимое увеличение УПП в лобных, центральных и височных областях в группе симпатотоников по сравнению группой нормотоников может свидетельствовать о содружественной активизации трёх структурных блоков мозга (теория функциональных блоков А.Р. Лурия), что в долгосрочной перспективе повышает риск истощения энергетических ресурсов головного мозга и может привести к психофизиологической дизадаптации [24, 25].

Повышение показателей УПП в лобных областях в группе симпатотоников относительно группы ваготоников, по всей вероятности, характеризует повышение управляющей функции фронтальных областей головного мозга пожилых женщин при симпатотонии [26, 27].

С помощью факторного анализа получены данные о локализации преобладающей мозговой активности у пожилых женщин, а также о перераспределении структуры и удельного веса факторов при различных типах вегетативного тонуса. Факторные структуры, составленные в ходе исследования, демонстрируют разницу энергетических процессов в коре головного мозга у симпатотоников, нормотоников и ваготоников.

В группе нормотоников и ваготоников ведущими являются факторы функциональной активности центральной и лобной областей (1-й и 2-й факторы) головного мозга. По нашему мнению, такие результаты определяют содружественную и уравновешенную работу восходящих и нисходящих путей афферентного и эфферентного взаимодействия при регуляции ВНС.

В группе симпатотоников наибольший удельный вес определён у факторов, определяющих мозговую активность правой височной и лобной областей (1-й и 2-й факторы), что характеризует активацию контролирующей функции нисходящих путей, идущих от височных и лобных отделов к подкорковым образованиям ствола мозга, которые осуществляют эффекторное влияние на различные системы организма, а также участвуют в поддержании гомеостаза. Можно предположить, что это обусловлено напряжением адаптационных механизмов в работе головного мозга, направленных на нормализацию и сохранение гомеостаза вегетативной регуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование функциональной активности головного мозга у женщин пожилого возраста с различным вегетативным тонусом показало наличие специфических изменений в распределении значений уровня постоянного потенциала. Установлено, что повышение показателей уровня постоянного потенциала в большей степени характерно для симпатотоников, что свидетельствует о нарастании функциональной напряжённости в работе головного мозга и снижении его энергетического ресурса, которое в свою очередь способно негативно сказываться на адаптационных возможностях всего организма в целом. Обнаружены также значимые различия в нейро-энергообмене головного мозга по отдельным отведениям между группами симпатотоников и нормотоников в лобной, центральной и височных областях, а между симпатотониками и ваготониками — в лобных областях (в правом и левом отведениях).

По данным факторного анализа выявлены особенности локализации преобладающей функциональной активности отделов головного мозга у пожилых женщин при различных типах вегетативного тонуса. Так, для нормотоников и ваготоников в большей степени характерна активность в центральной и лобной областях головного мозга, а для симпатотоников — в правой височной и лобной областях головного мозга, что может характеризовать процессы незавершённой адаптации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: А.В. Грибанов — идея статьи, существенный вклад в анализ и интерпретацию результатов, утверждение окончательного варианта статьи; И.Л. Фатеева — подготовка первого варианта статьи, сбор данных и анализ результатов; Т.П. Ширяева и Д.М. Федотов — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; О.С. Преминина и Т.В. Аношина — анализ данных, редактирование текста и формулирование выводов. 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).

Authors' contribution: A.V. Gribanov — the idea of the article, a significant contribution to the analysis and interpretation of the results, approval of the final version of the article; I.L. Fateeva — preparation of the first version of the article, data collection and analysis of the results; T.P. Shiryaeva and D.M. Fedotov — a significant contribution to the concept and design of the study, obtaining, analyzing and interpreting data; O.S. Preminina and T.V. Anoshina — data analysis, text editing and conclusions formulation. 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).

Финансирование исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых — кандидатов наук в рамках научного проекта № МК-4405.2022.1.4, а также при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

Funding sources. The study was supported by the grant from the President of the Russian Federation for young scientists — candidates of sciences within the framework of the project No. MK-4405.2022.1.4 and by the World-Class Scientific and Educational Center "Russian Arctic: new materials, technologies and research methods".

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канделя М.В., Койсман Л.А., Назарова В.П. Физиологические и психологические изменения в пожилом возрасте // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2019. № 2. С. 105–116.
2. Григорьева И.А. Пожилые женщины: «вниз по лестнице» возраста и гендера // Женщина в российском обществе. 2018. С. 5–18.
3. Крапивина О.В. Особенности самоотношения у женщин, переживающих кризис пожилого возраста // Вестник Томского государственного университета. Математика. 2011. Т. 16, № 1. С. 389–390.
4. Дубовая А.В., Ярошенко С.Я., Прилуцкая О.А. Хронический стресс и нейротрофический фактор головного мозга // Практическая медицина. 2021. Т. 19, № 2. С. 19–27.
5. Халепо О.В., Молотков О.В., Корчигина Н.В., и др. Состояние вегетативной регуляции у больных пожилого и старческого возраста с различными формами сердечно-сосудистой патологии // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2019. Т. 18, № 2. С. 135–143.
6. Wu J.K., Huang Z., Zhang Z., et al. Quantitative assessment of autonomic regulation of the cardiac system // J Healthc Eng. 2019. Vol. 2019. P. 4501502. doi: 10.1155/2019/4501502
7. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Энергетическая физиология мозга. Москва: Антидор, 2003. 288 с.
8. Zygmunt A., Stanczyk J. Methods of evaluation of autonomic nervous system function // Arch Med Sci. 2010. Vol. 6, N 1. P. 11–18. doi: 10.5114/aoms.2010.13500
9. Рабаданова А.И. Возрастные особенности изменения физиологических и биохимических показателей у людей с различной степенью активности вегетативной нервной системы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 634.
10. Реутов В.П., Черток В.М. Новые представления о роли вегетативной нервной системы и систем генерации оксида азота в сосудах мозга // Тихоокеанский медицинский журнал. 2016. № 2. С. 10–19.
11. Rodin E., Bornfleth H., Johnson M. DC-EEG recordings of mindfulness // Clin Neurophysiol. 2017. Vol. 128, N 4. P. 512–519. doi: 10.1016/j.clinph.2016.12.031
12. Чеснокова Н.П., Понукалина Е.В., Полутова Н.В., Бизенкова М.Н. Значение вегетативных нервных влияний и активности гипоталамо-гипофизарной системы в регуляции функции периферических эндокринных желез, общесоматического и метаболического статусов // Научное обозрение. Медицинские науки. 2016. № 1. С. 54–55.
13. Бабиянц А.Я., Афонин А.А. Морфофункциональные особенности респираторно-гемодинамического взаимоотношения в антенатальный период развития // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2018. № 1. С. 37–47.
14. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Интенсивность церебрального энергетического обмена: возможности его оценки электрофизиологическим методом // Вестник Российской академии медицинских наук. 2001. № 8. С. 38–43.
15. Депутат И.С., Грибанов А.В., Большевидцева И.Л. Особенности энергетического обмена головного мозга у жительниц Европейского Севера России в пожилом возрасте (на примере Архангельской области) // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2016. № 4. С. 5–12. doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.4.5
16. Волокитина Т.В., Аникина Н.Ю., Котцова О.Н., Грибанов А.В. Проявления экологической адаптированности церебрального энергообмена у молодых жителей арктического региона с различным вегетативным тонусом // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 6. С. 93.
17. Депутат И.С., Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., и др. Анализ распределения уровня постоянного потенциала головного мозга в оценке функционального состояния организма (обзор) // Экология человека. 2015. Т. 22, № 10. С. 27–36.
18. Мелькова Л.А., Федотов Д.М. Состояние вегетативной регуляции ритма сердца при пассивном ортостазе у женщин пожилого и старческого возраста // Журнал медико-биологических исследований. 2015. № 2. С. 44–51.
19. Sawatzky A., Cunsolo A., Jones-Bitton A., et al. Responding to climate and environmental change impacts on human health via integrated surveillance in the circumpolar north: a systematic realist review // Int J Environ Res Public Health. 2018. Vol. 15, N 12. P. 2706. doi: 10.3390/ijerph15122706
20. Котцова О.Н., Аникина Н.Ю., Грибанов А.В. Половые различия церебрального энергообмена у жителей Арктической зоны РФ // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2021. Том 18, №1. С. 4–12. doi: 10.22138/2500-0918-2021-18-1-4-12
21. Sato N., Katori Y. Infra-slow electroencephalogram power associates with reaction time in simple discrimination tasks. In: Lecture notes in computer science. 2019. P. 501–511.
22. Ernst G. Heart-rate variability—more than heart beats? // Front Public Health. 2017. Vol. 5. P. 240. doi: 10.3389/fpubh.2017.00240
23. Abboud F.M., Singh M.V. Autonomic regulation of the immune system in cardiovascular diseases // Adv Physiol Educ. 2017. Vol. 41, № 4. P. 578–593. doi: 10.1152/advan.00061.2017
24. Korf H.W. Signaling pathways to and from the hypophysial pars tuberalis, an important center for the control of seasonal rhythms // Gen Comp Endocrinol. 2018. Vol. 258. P. 236–243. doi: 10.1016/j.ygcen.2017.05.011
25. Вецлер М.В., Черкасова В.Г., Муравьев С.В., и др. Когнитивные функции и вегетативная регуляция у практически здоровых лиц молодого возраста с разным уровнем здоровья // Пермский медицинский журнал. 2018. № 4. С. 77–82. doi: 10.17816/pmj35477-82
26. Willie C.K., Tzeng Y.C., Fisher J.A., Ainslie P.N. Integrative regulation of human brain blood flow // J Physiol. 2014. Vol. 592, N 5. P. 841–859. doi: 10.1113/jphysiol.2013.268953
27. Tentolouris N., Argyrakopoulou G., Katsilambros N. Perturbed autonomic nervous system function in metabolic syndrome // Neuromolecular Med. 2008. Vol. 10, N 3. P. 169–178. doi: 10.1007/s12017-008-8022-5

REFERENCES

1. Kandelya MV, Koisman LA, Nazarova VP. Physiological and psychological changes in old age. *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Alejhema*. 2019;(2):105–116. (In Russ).
2. Grigorieva IA. Elderly women: over the hill — age- and gender-wise. *Woman in Russian Society*. 2018;(1):5–18. (In Russ).
3. Krapivina OV. Peculiarities of women's self-assessment during old age crisis period. *Tomsk State University Journals*. 2011;16(1):389–390. (In Russ).
4. Dubovaya AV, Iaroshenko SYa, Prilutskaya OA. Chronic stress and brain-derived neurotrophic factor. *Practical medicine*. 2021;19(2):19–27. (In Russ).
5. Khalepo OV, Molotkov OV, Korchigina NV, et al. Vegetative regulation condition in patients of elderly and senile age with various forms of cardiovascular pathology. *Vestnik of the Smolensk State Medical Academy*. 2019;18(2):135–143. (In Russ).
6. Wu JK, Huang Z, Zhang Z, et al. Quantitative assessment of autonomic regulation of the cardiac system. *J Healthc Eng*. 2019;2019:4501502. doi: 10.1155/2019/4501502
7. Fokin VF, Ponomareva NV. *Jenergeticheskaja fiziologija mozga*. Moscow: Antidor; 2003. 288 p. (In Russ).
8. Zygmunt A, Stanczyk J. Methods of evaluation of autonomic nervous system function. *Arch Med Sci*. 2010;6(1):11–18. doi: 10.5114/aoms.2010.13500
9. Rabadanova AI. Age features changes in physiological and biochemical indices in people with different degrees of activity of the autonomic nervous system. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(5):634. (In Russ).
10. Reutov VP, Chertok VM. The new understanding of the autonomic nervous system role and the nitric oxide generating system in the brain vessels. *Pacific Medical Journal*. 2016;(26):10–20. (In Russ).
11. Rodin E, Bornfleth H, Johnson M. DC-EEG recordings of mindfulness. *Clin Neurophysiol*. 2017;128(4):512–519. (In Russ). doi: 10.1016/j.clinph.2016.12.031
12. Chesnokova NP, Ponukalina EV, Polutova NV, Bizenkova MN. Znachenie vegetativnyh nervnyh vlijanij i aktivnosti gipotalamo-gipofizarnoj sistemy v reguljacii funkcii perifericheskikh jendokrinnih zhelez, obshhesomaticheskogo i metabolicheskogo statusov. *Scientific Review. Medical Sciences*. 2016;(1):54–55. (In Russ).
13. Babiyants AYa, Afonin AA. Morphological and functional features respiratory-hemodynamic relationship in the antenatal period of development. *Zhurnal fundamental'noj mediciny i biologii*. 2018;(1):37–47. (In Russ).
14. Fokin VF, Ponomareva NV. Intensivnost' cerebral'nogo energeticheskogo obmena: vozmozhnosti ego ocenki elektrofiziologicheskimi metodami. *Vestnik Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. 2001;(8):38–43. (In Russ).
15. Deputat IS, Gribanov AV, Bol'shevidtseva IL. Cerebral energy metabolism in older women living in the European North of Russia (Exemplified by the Arkhangelsk region). *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*. 2016;(4):5–12. (In Russ). doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.4.5
16. Volokitina TV, Anikina NY, Kottsova ON, Gribanov AV. Manifestations of ecological adaptedness of cerebral power exchange at young inhabitants of the arctic region with various vegetative tone. *Modern Problems of Science and Education*. 2018;(6):93. (In Russ).
17. Deputat IS, Nekhoroshkova AN, Gribanov AV, et al. Analysis of dc-potential level in assessment of body functional state (review). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(10):27–36. (In Russ).
18. Melkova LA, Fedotov DM. Autonomic regulation of heart rate in elderly and senile women during tilt table test. *Journal of Medical and Biological Research*. 2015;(2):44–51. (In Russ).
19. Sawatzky A, Cunsolo A, Jones-Bitton A, et al. Responding to climate and environmental change impacts on human health via integrated surveillance in the circumpolar north: a systematic realist review. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(12):2706. doi: 10.3390/ijerph15122706
20. Kottsova ON, Anikina NYu, Gribanov AV. Sex differences in cerebral energy exchange among residents of the arctic zone of the Russian Federation. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2021;18(1): 4–12. (In Russ). doi: 10.22138/2500-0918-2021-18-1-4-12
21. Sato N, Katori Y. Infra-slow electroencephalogram power associates with reaction time in simple discrimination tasks. In: *Lecture notes in computer science*. 2019. P. 501–511.
22. Ernst G. Heart-rate variability—more than heart beats? *Front Public Health*. 2017;5:240.
23. Abboud FM, Singh MV. Autonomic regulation of the immune system in cardiovascular diseases. *Adv Physiol Educ*. 2017;41(4):578–593. doi: 10.1152/advan.00061.2017
24. Korf HW. Signaling pathways to and from the hypophysial pars tuberalis, an important center for the control of seasonal rhythms. *Gen Comp Endocrinol*. 2018;258:236–243. doi: 10.1016/j.ygcen.2017.05.011
25. Vetsler MV, Cherkasova VG, Muravijov SV, et al. Cognitive functions and vegetative regulation in practically healthy young people with different health status. *Perm Medical Journal*. 2018;(4):77–82. (In Russ). doi: 10.17816/pmj35477-82
26. Willie CK, Tzeng YC, Fisher JA, Ainslie PN. Integrative regulation of human brain blood flow. *J Physiol*. 2014;592(5):841–859. doi: 10.1113/jphysiol.2013.268953
27. Tentolouris N, Argyrakopoulou G, Katsilambros N. Perturbed autonomic nervous system function in metabolic syndrome. *Neuromolecular Med*. 2008;10(3):169–178. doi: 10.1007/s12017-008-8022-5

ОБ АВТОРАХ

* **Грибанов Анатолий Владимирович**, д.м.н., профессор;
адрес: Россия, 163002, Архангельск, набережная
Северной Двины, д. 17;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4714-6408>;
eLibrary SPIN: 2788-8167;
e-mail: a.gribanov@narfu.ru

Ширяева Таисия Петровна, к.б.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9458-3224>;
eLibrary SPIN: 6330-0832;
e-mail: t.shiryaeva@narfu.ru

Фатеева Ирина Леопольдовна, врач-дефектолог;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4506-5871>;
eLibrary SPIN: 1934-8901;
e-mail: irana1307@mail.ru

Федотов Денис Михайлович, к.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4067-8364>;
eLibrary SPIN: 1209-7657;
e-mail: doctorpro@yandex.ru

Преминина Оксана Сергеевна, к.б.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9664-8773>;
eLibrary SPIN: 4975-5736;
e-mail: o.premminina@narfu.ru

Аношина Татьяна Васильевна, доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4882-7512>;
eLibrary SPIN: 8580-6240;
e-mail: t.anoshina@narfu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

* **Anatoliy V. Gribanov**, MD, Dr. Sci. (Med.), professor;
address: 17 naberezhnaja Severnoj Dviny, 163002 Arhangel'sk,
Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4714-6408>;
eLibrary SPIN: 2788-8167;
e-mail: a.gribanov@narfu.ru

Taisiia P. Shiryaeva, Cand. Sci. (Biol.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9458-3224>;
eLibrary SPIN: 6330-0832;
e-mail: t.shiryaeva@narfu.ru

Irina L. Fateeva, MD, defectologist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4506-5871>;
eLibrary SPIN: 1934-8901;
e-mail: irana1307@mail.ru

Denis M. Fedotov, MD, Cand. Sci. (Med.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4067-8364>;
eLibrary SPIN: 1209-7657;
e-mail: doctorpro@yandex.ru

Oksana S. Premminina, Cand. Sci. (Biol.), associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9664-8773>;
eLibrary SPIN: 4975-5736;
e-mail: o.premminina@narfu.ru

Tatiana Vasil'evna Anoshina, associate professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4882-7512>;
eLibrary SPIN: 8580-6240;
e-mail: t.anoshina@narfu.ru