

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 32, Issue 8, 2025

8

Том 32

2025



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: Россия, 191181, г. Санкт-Петербург, Аптекарский переулок, д. 3, литера А, помещение 1Н

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: https://eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ:

Адрес: Россия, 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51.

Тел. +7 (818) 220 6563;

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

ИНДЕКСАЦИЯ:

– SCOPUS

– Белый список научных журналов

– Google Scholar

– Ulrich's Periodicals directory

– ядро РИНЦ

– Russian Science Citation Index

– Norwegian National Center for Research Data

– реферативный журнал и база данных ВИННИТИ

– Global Health

– CAB Abstracts

– ProQuest

– InfoBase Index

– КиберЛенинка

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

Литературный редактор: А.А. Филь

Корректор: А.А. Филь

Вёрстка: О.В. Устинкова

Сдано в набор 27.08.2025.

Подписано в печать 29.09.2025.

Выход в свет 13.10.2025.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ 5-10595-1v. Цена свободная.

Усл. печ. л. 10,5.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс В2В»

Россия, 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: adv@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. 2025. Т. 32, № 8.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 32 • № 8 • 2025

Основными направлениями публикаций являются вопросы взаимодействия человека и окружающей среды, физиология человека, влияние экологических факторов на здоровье населения, гигиена, эпидемиология и общественное здоровье.

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

В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры и протоколы исследований.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Унгуряну Татьяна Николаевна, д-р мед. наук, доцент
Северный государственный медицинский университет
(Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0001-8936-7324

Заместители главного редактора

Гудков Андрей Борисович, д-р мед. наук, профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0001-5923-0941

Ушаков Игорь Борисович, д-р мед. наук, профессор (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0002-0270-8622

Научный редактор

Марьяндышев Андрей Олегович, д-р мед. наук, профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-8485-5625

Ответственный секретарь

Постоев Виталий Александрович, канд. мед. наук (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0003-4982-4169

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Баранов Александр Васильевич, д.м.н.,
(Сыктывкар, Россия)
ORCID: 0000-0002-3553-9001

Болотов Иван Николаевич, д.б.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-3878-4192

Бузинов Роман Вячеславович, д.м.н.,
доцент (Санкт-Петербург, Россия)
ORCID: 0000-0002-8624-6452

Горбатова Любовь Николаевна, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0003-0675-3647

Гржибовский Андрей Мечиславович,
PhD (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-5464-0498

Доршакова Наталья Владимировна, д.м.н.,
профессор (Петрозаводск, Россия)
ORCID: 0000-0003-1072-9164

Зайцева Нина Владимировна, д.м.н.,
профессор (Пермь, Россия)
ORCID: 0000-0003-2356-1145

Ичитовкина Елена Геннадьевна, д.м.н.,
доцент (Москва, Россия)
ORCID: 0000-0001-8876-669X

Макарова Валерия Ивановна, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-8150-9110
Author ID: 7005797378

Мордовский Эдгар Артурович, д.м.н.,
доцент (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-2346-9763

Мосягин Игорь Геннадьевич, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-9485-6584

Соловьев Андрей Горгоньевич, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID: 0000-0002-0350-1359

Софронов Генрих Александрович, д.м.н.,
профессор (Санкт-Петербург, Россия)
ORCID: 0000-0002-8587-1328

Черешнев Валерий Александрович, д.м.н.,
профессор (Екатеринбург, Россия)
ORCID: 0000-0003-4329-147X

Rautio Arja, профессор (Финляндия)
ORCID: 0000-0002-5816-533X

Rudge Marilza Vieira Cunha, профессор
(Бразилия)
ORCID: 0000-0002-9227-832X

Nieboer Evert, профессор (Канада)
ORCID: 0000-0001-5165-2832

Röllin Halina, профессор (ЮАР)
ORCID: 0000-0001-5247-6519

Ruiz Jonatan, профессор (Испания)
ORCID: 0000-0002-7548-7138

Ramune Kalediene, профессор (Литва)
ORCID: 0000-0003-3434-8091

Pärna Kersti, доцент (Эстония)
ORCID: 0000-0001-7677-9493

Per Magnus, профессор (Норвегия)
ORCID: 0000-0002-6427-4735

Gissler Mika, профессор (Финляндия)
ORCID: 0000-0001-8254-7525

Weihe Pal, профессор (Фарерские острова)
ORCID: 0000-0001-8174-3671

Johnson Rhonda, профессор (США)
ORCID: 0000-0002-7730-7452

Shi Zumin, профессор (Катар)
ORCID: 0000-0002-3099-3299

Yu Canqing, профессор (КНР)
ORCID: 0000-0002-0019-0014

FOUNDERS:

- Northern State Medical University;
- Eco-Vector

PUBLISHER:

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok,
191181 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: A.A. Fil'

Proofreader: A.A. Fil'

Layout editor: O.V. Ustinkova

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: adv@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 32 • Issue 8 • 2025

The journal publishes results of research in environmental health, human
physiology, human ecology, hygiene, epidemiology and public health.

The primary audience of the journal includes health professionals,
environmental specialists, biomedical researchers, biologists,
social workers and university teachers.

The journal publishes original articles and reviews.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Tatiana N. Unguryanu, MD, Dr. Sci. (Med), Associate Professor
North State Medical University (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0001-8936-7324

Deputy Editor-in-Chief

Andrey B. Gudkov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0001-5923-0941
Igor B. Ushakov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0002-0270-8622

Science editor

Andrey O. Maryandyshev, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-8485-5625

Executive editor

Vitaly A. Postoev, MD, Cand. Sci. (Med) (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0003-4982-4169

EDITORIAL COUNCIL

Alexander V. Baranov,

MD, Dr. Sci. (Med), (Syktyvkar, Russia)
ORCID: 0000-0002-3553-9001

Ivan N. Bolotov, Dr. Sci. (Biol), Professor

(Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-3878-4192

Roman V. Buzinov, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor associate (St. Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-8624-6452

Valeriy A. Chereshev, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Ekaterinburg, Russia)

ORCID: 0000-0003-4329-147X

Nataliya V. Dorshakova, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Petrozavodsk, Russia)

ORCID: 0000-0003-1072-9164

Mika Gissler, Professor (Finland)

ORCID: 0000-0001-8254-7525

Andrej M. Grjibovski,

MD, PhD (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-5464-0498

Lyubov N. Gorbatova, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0003-0675-3647

Elena G. Ichitovkina, MD, Dr. Sci. (Med),

Associate Professor (Moscow, Russia)

ORCID: 0000-0001-8876-669X

Rhonda Johnson, Professor (USA)

ORCID: 0000-0002-7730-7452

Valeriya I. Makarova, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-8150-9110

Scopus Author ID: 7005797378

Edgar A. Mordovsky, MD, Dr. Sci. (Med),

Associate Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-2346-9763

Igor G. Mosyagin, MD, Dr. Sci. (Med), Professor

(Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-9485-6584

Evert Nieboer, Professor (Canada)

ORCID: 0000-0001-5165-2832

Kersti Pärna, Professor associate (Estonia)

ORCID: 0000-0001-7677-9493

Magnus Per, Professor (Norway)

ORCID: 0000-0002-6427-4735

Kalediene Ramune, Professor (Lithuania)

ORCID: 0000-0003-3434-8091

Arja Rautio, Professor (Finland)

ORCID: 0000-0002-5816-533X

Halina Röllin, Professor (South Africa)

ORCID: 0000-0001-5247-6519

Marilza Vieira Cunha Rudge,

Professor (Brazil)

ORCID: 0000-0002-9227-832X

Jonatan Ruiz, Professor (Spain)

ORCID: 0000-0002-7548-7138

Zumin Shi, Professor (Qatar)

ORCID: 0000-0002-3099-3299

Genrikh A. Sofronov, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (St. Petersburg, Russia)

ORCID: 0000-0002-8587-1328

Andrey G. Soloviev, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-0350-1359

Pal Weihe, Professor (Faroe Islands)

ORCID: 0000-0001-8174-3671

Canqing Yu, Professor (China)

ORCID: 0000-0002-0019-0014

Nina V. Zaytseva, MD, Dr. Sci. (Med),

Professor (Perm, Russia)

ORCID: 0000-0003-2356-1145

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.О. Аверьянов, Н.А. Рослякова, А.Д. Волков

Экологическое поведение населения арктических территорий на примере муниципальных округов Воркута и Усинск..... 529

Е.К. Миронова, А.И. Каракулова, М.М. Донец, А.В. Литвиненко, В.Ю. Цыганков

Стойкие органические токсиканты в грудном молоке женщин Сахалинской области и оценка риска для здоровья младенцев547

В.В. Шилов, О.Л. Маркова, Д.С. Исаев, М.Н. Кирьянова, А.А. Ковшов

Гигиеническая оценка бутилированной воды для детского питания как источника эссенциальных минеральных элементов..... 559

Н.К. Белишева, А.А. Мартынова, Э.И. Григорьева

Гормональный статус молодых женщин, проживающих на Кольском Севере в условиях техногенного загрязнения.....570

Л.А. Михайлова, Е.А. Бондаревич, Н.Н. Коцюржинская, Н.В. Соловьёва,

Г.Ю. Самойленко, О.А. Лескова, Б.В. Нимаева

Элементный состав волос детей как индикатор техногенно изменённых территорий Восточного Забайкалья..... 585

И.А. Лакман, Н.Ш. Загидуллин, В.М. Тимирьянова, Е.А. Бадькова,

П.А. Давтян, Д.Ф. Гареева, А.Э. Исламов, М.Н. Шамуратов

Динамика качества здоровья госпитализированных пациентов с COVID-19 в постковидный период 598

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES

<i>Aleksandr O. Averyanov, Natalia A. Roslyakova, Alexander D. Volkov</i> Ecological Behavior of the Population in Arctic Territories: A Case Study of the Municipal Districts of Vorkuta and Usinsk	529
<i>Ekaterina K. Mironova, Anna I. Karakulova, Maksim M. Donets, Anna V. Litvinenko, Vasilij Yu. Tsygankov</i> Persistent Organic Toxicants in Breast Milk of Women From the Sakhalin Region and Health Risk Assessment for Infants	547
<i>Viktor V. Shilov, Olga L. Markova, Daniil S. Isaev, Marina N. Kir'yanova, Aleksandr A. Kovshov</i> Hygienic Assessment of Bottled Water for Infant Nutrition as a Source of Essential Mineral Elements.....	559
<i>Natalia K. Belisheva, Alla A. Martynova, Elina I. Grigorieva</i> Hormonal Status of Young Women Living in the Kola North Under Conditions of Technogenic Pollution	570
<i>Larisa A. Mikhailova, Evgeniy A. Bondarevich, Natalia N. Kotsurzhinskaya, Natalia V. Solovjeva, Galina Yu. Samoilenko, Olga A. Leskova, Baljit V. Nimaeva</i> Elemental Composition of Children's Hair as an Indicator of Technogenically Altered Territories in Eastern Transbaikalia	585
<i>Irina A. Lakman, Naufal Sh. Zagidullin, Venera M. Timiryanova, Elena A. Badykova, Paruir A. Davtian, Diana F. Gareeva, Albert E. Islanov, Murat N. Shamuratov</i> Post-COVID Trends of Health-Related Quality of Life in Hospitalized Patients With COVID-19	598

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco681676>

EDN: NRFAEJ

Экологическое поведение населения арктических территорий на примере муниципальных округов Воркута и Усинск

А.О. Аверьянов, Н.А. Рослякова, А.Д. Волков

Карельский научный центр Российской академии наук, Петрозаводск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Арктическая зона России — экономически и геостратегически значимый, но экологически уязвимый макрорегион, в связи с чем возрастает угроза его устойчивому развитию. Монопрофильность экономик делает арктические территории зависимыми от экологической политики и социальной ответственности градообразующих предприятий. В таких условиях экологическое поведение населения выступает важным фактором стабилизации и реализации природоохранных инициатив. При этом стадия развития предприятий и накопленный экологический ущерб определяют восприятие жителями экологических проблем и своей ответственности. Именно поэтому анализ дифференциации экологических установок населения арктических моногородов в социально-экономическом контексте приобретает особую актуальность.

Цель исследования. Выявление особенностей экологических установок населения на территориях с различным уровнем накопленного экологического ущерба и стадии жизненного цикла градообразующего предприятия.

Методы. Проведено одномоментное опросное исследование, которое основывается на теории (модели) активации нормы, предложенной S.H. Schwartz. Разработан авторский социологический опросник, позволяющий измерить экологические установки, а также практики экологического поведения населения. Эмпирическую базу исследования составляют данные опроса населения двух муниципальных округов Республики Коми Воркуты и Усинска ($n=513$). Основными методами исследования являются статистический анализ и моделирование структурными уравнениями.

Результаты. Проведённое исследование позволило определить территориальные особенности восприятия населением экологической обстановки в муниципальных округах Воркута и Усинск, а также различия в оценке компонентов экологического поведения. Экологическая проблематика не является главенствующей для их жителей, однако население выражает неудовлетворённость загрязнённостью территорий бытовыми отходами и результатами производственной деятельности. В то же время выявлено, что формирование у населения осознания последствий от загрязнения окружающей среды, определение границ ответственности за решение экологических проблем и повышение уверенности в возможности личного вклада в их решение позитивно отражаются на экологических установках. На примере муниципального округа Воркута верифицировано соответствие разработанной анкеты теории активации нормы, применительно к объекту исследования сформирована модель активации нормы по защите окружающей среды.

Заключение. Таким образом, экологические установки населения на территориях с различным уровнем накопленного экологического ущерба и стадии жизненного цикла градообразующего предприятия хоть и имеют общие тенденции, но являются различными в части приписывания ответственности за решение экологических проблем. Дальнейшие исследования будут сосредоточены на совершенствовании используемого опросника, учёте более широкого спектра факторов и охват новых территорий.

Ключевые слова: экологическое поведение; экологические установки; накопленный экологический эффект; Арктика; моногорода.

Как цитировать:

Аверьянов А.О., Рослякова Н.А., Волков А.Д. Экологическое поведение населения арктических территорий на примере муниципальных округов Воркута и Усинск // Экология человека. 2025. Т. 32, № 8. С. 529–546. DOI: 10.17816/humeco681676 EDN: NRFAEJ

Рукопись получена: 30.05.2025

Рукопись одобрена: 03.09.2025

Опубликована online: 12.09.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco681676>

EDN: NRFAEJ

Ecological Behavior of the Population in Arctic Territories: A Case Study of the Municipal Districts of Vorkuta and Usinsk

Aleksandr O. Averyanov, Natalia A. Roslyakova, Alexander D. Volkov

Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The Arctic zone of Russia is an economically and geostrategically significant but ecologically vulnerable macroregion, which increases the risks to its sustainable development. The single-industry structure of local economies makes Arctic territories dependent on the environmental policies and social responsibility of city-forming enterprises. Under these conditions, the ecological behavior of the population becomes an important factor in stabilizing and implementing environmental protection initiatives. At the same time, the stage of enterprise development and the accumulated environmental damage determine how residents perceive ecological problems and their own responsibility. Therefore, analyzing the differentiation of environmental attitudes of population in Arctic single-industry towns in the socio-economic context is of particular relevance.

AIM: The work aimed to identify the specific features of environmental attitudes among residents in areas with varying levels of accumulated environmental damage and different stages in the life cycle of city-forming enterprises.

METHODS: It was a cross-sectional survey based on the norm activation theory (model) proposed by Schwartz. The authors developed a sociological questionnaire to assess environmental attitudes and ecological behavior practices among the population. The empirical basis of the study consists of survey data from residents of two municipal districts of the Komi Republic—Vorkuta and Usinsk ($n = 513$). The main research methods included statistical analysis and structural equation modeling.

RESULTS: The study revealed territorial features of how residents perceive the environmental situation in Vorkuta and Usinsk municipal districts, as well as differences in their assessment of the components of ecological behavior. Environmental issues are not a top priority for residents; however, the population expressed dissatisfaction with household waste pollution and the consequences of industrial activity. At the same time, it was found that fostering awareness of environmental pollution consequences, clarifying responsibility boundaries for solving ecological problems, and strengthening confidence in the possibility of personal contribution positively affect environmental attitudes. Using the case of Vorkuta municipal district, the study verified the correspondence of the developed questionnaire to the norm activation theory, and a norm activation model for environmental protection was constructed for the studied population.

CONCLUSION: Thus, although the environmental attitudes of residents in territories with different levels of accumulated environmental damage and at different stages in the life cycle of city-forming enterprises share common trends, they differ in terms of the attribution of responsibility for solving ecological problems. Future research will focus on improving the questionnaire, considering a broader range of factors, and extending the study to new territories.

Keywords: ecological behavior; environmental attitudes; accumulated environmental effect; Arctic; single-industry towns.

To cite this article:

Averyanov AO, Roslyakova NA, Volkov AD. Ecological Behavior of the Population in Arctic Territories: A Case Study of the Municipal Districts of Vorkuta and Usinsk. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):529–546. DOI: 10.17816/humeco681676 EDN: NRFAEJ

Submitted: 30.05.2025

Accepted: 03.09.2025

Published online: 12.09.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco681676>

EDN: NRFAEJ

北极地区居民生态行为研究：以Vorkuta和Usinsk市政区为例

Aleksandr O. Averyanov, Natalia A. Roslyakova, Alexander D. Volkov

Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

摘要

论证：俄罗斯北极地区是具有重要经济与地缘战略意义但生态脆弱的宏观区域，其可持续发展面临严峻威胁。单一产业结构使得北极地区在很大程度上依赖于城市支柱性企业的环境政策和社会责任。在这种条件下，居民的生态行为成为稳定局势与推动环境保护举措的重要因素。同时，企业的发展阶段及累积的生态损害决定了居民对环境问题及自身责任的认知。因此，分析北极单一产业城市居民在社会经济背景下的生态态度分化具有重要现实意义。

目的：揭示居民在不同生态损害累积水平和城市支柱性企业生命周期阶段下的生态态度特征。

方法：开展横断面问卷调查研究，研究框架基于 S. H. Schwartz 提出的规范激活理论 (Norm Activation Model)。设计了自主编制的社会学问卷，用于测量居民生态态度及生态行为实践。实证数据来自Komi Republic的Vorkuta和Usinsk两个市政区居民的问卷调查 ($n=513$)。主要研究方法包括统计分析与结构方程建模。

结果：研究识别出Vorkuta和Usinsk市政区居民在对生态环境状况感知上的地域性特征，以及在生态行为构成要素评价上的差异。尽管生态议题并非居民的首要关注点，但他们对生活垃圾和生产活动造成的环境污染表示不满。同时揭示，居民对环境污染后果的认知形成、对解决生态问题责任边界的界定以及对个人贡献可能性的信心提升，都会在其生态态度上产生积极反映。在Vorkuta市政区的实证分析验证了所编制问卷与规范激活理论的一致性，并据此构建了适用于研究对象的环境保护规范激活模型。

结论：在不同生态损害累积水平和支柱性企业生命周期阶段下，居民的生态态度虽有共性趋势，但在生态问题责任归属的认知上表现出差异。未来研究将聚焦于改进问卷工具、纳入更广泛的影响因素，并扩展至新的研究区域。

关键词：生态行为；生态态度；累积生态效应；北极；单一产业城市。

引用本文：

Averyanov AO, Roslyakova NA, Volkov AD. 北极地区居民生态行为研究：以Vorkuta和Usinsk市政区为例. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):529–546. DOI: 10.17816/humeco681676 EDN: NRFAEJ

收到: 30.05.2025

接受: 03.09.2025

发布日期: 12.09.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Арктические территории Российской Федерации обладают стратегическим значением как с точки зрения ресурсного потенциала, так и с позиции обеспечения национальных интересов. Вместе с тем данные регионы отличаются высокой степенью уязвимости природной среды. Как утверждается в обновлённом указе Президента «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года», неблагоприятные экологические последствия в Арктических зонах Российской Федерации создают глобальные риски для хозяйственной системы, окружающей среды и безопасности страны, а также мира в целом¹.

Активное освоение природно-ресурсного потенциала российской Арктики приводит к накоплению значительного экологического ущерба [1]. При этом в отдельных регионах данная проблема носит долгосрочный и системный характер [2, 3]. Данное утверждение позволяет сделать вывод, что ликвидация объектов накопленного экологического ущерба в результате деятельности добывающих компаний является одной из актуальных проблем промышленного освоения Арктики [4].

Другой экологической проблемой для арктических территорий являются свалки твёрдых коммунальных отходов, в свою очередь, большинство несанкционированных свалок образуют в пределах городов и сельских поселений [5]. Как отмечают Е.В. Недосека и соавт. [6], серьёзным препятствием к реализации управления отходами становится удалённость населённых пунктов.

Одной из ключевых характеристик арктических территорий является монопрофильность экономик, что делает их развитие особенно зависимым от экологической политики и корпоративной ответственности градообразующих предприятий. При этом моногорода находятся на разных стадиях социально-экономического развития, определяемых этапом жизненного цикла градообразующего предприятия, что влияет как на характер и выраженность экологических проблем, связанных с текущим и накопленным ущербом, так и на особенности взаимодействия бизнеса, власти и населения. Так, К.Ш. Чмель и соавт. [7] выявили, что чёткое признание ответственности за экологические риски и их последствия связано с мобилизацией и протестной активностью населения.

В.Г. Прудский и соавт. [8] приходят к выводу, что несовершенство регулирующих управленческих инструментов в области обеспечения экологической безопасности арктических территорий России, приводит к пониженной ответственности бизнеса за своевременную реализацию природоохранных мероприятий и устранение техногенных

угроз. Таким образом, понимание гражданами своей роли в обеспечении экологического благополучия, восприятие ими экологической обстановки и отношение к аспектам бытового и промышленного загрязнения становятся важными индикаторами как социальной стабильности, так и потенциала для реализации экологических инициатив по ликвидации накопленного экологического ущерба. Другими словами, экологическое поведение населения напрямую влияет на экологическую обстановку в месте проживания.

Отмеченная зависимость локальных экономик арктических регионов от стадии жизненного цикла градообразующих предприятий позволяет сформулировать исследовательский вопрос: как различаются экологические установки населения на территориях с различной социально-экономической обстановкой, стадией жизненного цикла градообразующего предприятия и сложившихся практик взаимодействия власти, бизнеса и населения?

Вопросы экологического поведения, осознание экологических проблем населением и восприятие ответственности за их решение являются актуальными в условиях как российского, так и зарубежного научного дискурса. Значимый вклад в изучение экологической культуры и поведения внёс О.Н. Яницкий [9], согласно которому экологическая культура является этической системой, противостоящей этике потребительского общества. В частности, он предложил концепцию «производства экосоциального знания» [10]. Следуя утверждениям Е.А. Сосуновой [11], и экологическая культура, и экологическое поведение не возникают сами по себе, а являются конструируемыми сущностями, для возникновения и реализации которых необходимо взаимодействие различных факторов и изменений в этической плоскости. Одним из проявлений таких изменений является осознание личной ответственности за решение экологических проблем.

При анализе экологической ответственности населения В.А. Прохода [12] отмечает, что в России соответствующие установки выражены преимущественно слабо — население страны не в полной мере готово к дополнительным материальным тратам и самоограничениям ради сохранения окружающей среды. Аналогичные выводы сделаны в другом исследовании: авторы отмечают, что экологическая ответственность населения находится в стадии формирования и становления [13]. С другой стороны, результаты исследования К.Е. Косыгиной и соавт. [14] свидетельствуют о запросе со стороны общества на защиту и улучшение экологической обстановки в стране и на её отдельных территориях. Однако, как пишет Е.В. Рюмина [15], инструменты для оценки экологического поведения населения не в полной мере представлены в существующих исследованиях российских учёных.

П.О. Ермолаева и соавт. [16], критически анализируя, сравнивая и систематизируя основные зарубежные подходы и теории экологического поведения, выделили пять основных концепций, среди которых особенно отмечена теория активации нормы (NAT), объясняющая

¹ Указ Президента Российской Федерации № 645 от 26 октября 2020 г. «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556> Дата обращения: 15.05.2025.

формирование экологических норм субъектов и их трансформацию в экологические установки.

Теорию активации нормы, или модель активации нормы (NAT/NAM), предложил S.H. Schwartz [17]. Она объясняет, как и почему люди начинают действовать в интересах других или ради общественного блага. Согласно этой теории, просоциальное (альтруистическое) поведение активируется в тот момент, когда у индивида запускается внутренняя моральная норма, и он ощущает личную ответственность за последствия своих действий или бездействия. В терминологии теории поведенческие намерения по защите окружающей среды (Behavioral Intentions, BI) возникают после активизации личной нормы (Personal Norm to Protect Environment, PN), обусловленной осознанием последствий существующих и потенциальных экологических проблем (Awareness of Consequences, AC) и принятием личной ответственности за их предотвращение (Ascription of Responsibility, AR). J. Wang и соавт. [18] предлагают дополнить рассмотренные психологические факторы формирования поведенческих намерений по защите окружающей среды фактором, характеризующим уверенность индивидов в своих возможностях в области её защиты (Self-Efficacy, SE). Вера в собственные силы позволяет людям формировать мотивацию и предпринимать действия, направление на решение задачи. Данный подход обусловлен предположением о том, что те, кто уверен в своих способностях, справляются с задачей, лучше, чем те, кто сомневается в успехе [19]. Таким образом, уверенность в собственных навыках напрямую влияет как на активизацию личной нормы по защите окружающей среды, так и на соответствующие поведенческие намерения.

Исследование Е.С. Александровой [20] также подтверждает взаимосвязь личностных ценностей индивида и проэкологического поведения, что позволяет рассматривать описываемую теоретическую концепцию как важную основу для формирования исследовательского инструментария. В качестве примера применения теоретической концепции S.H. Schwartz [17] можно привести исследование Е.В. Недосеки [21]. В частности, она установила, что значительная часть опрошенных респондентов понимает ответственность своего поколения за решение экологических проблем и готова оказывать влияние на изменение экологической ситуации. Таким образом, для изучения практик формирования экологического поведения мы использовали теорию активации нормы S.H. Schwartz [17].

В качестве объекта исследования выбраны две территории Республики Коми — муниципальные округа (МО) Воркута и Усинск. Предметом исследования является экологическое поведение населения данных МО.

Как отмечает Т.В. Тихонова [22], Республика Коми является одним из центров экономического роста на европейском Севере и обладает ресурсным потенциалом для развития добывающей и перерабатывающей промышленности. В то же время обратной стороной такого развития является накопление негативных экологических

эффектов, о которых мы говорили в водной части статьи. Выбор конкретных территорий региона для более детального исследования обусловлен их социально-экономическим статусом.

Воркута, административный центр МО Воркута, обладает статусом «монопрофильного муниципального образования Российской Федерации (моногорода) со стабильной социально-экономической ситуацией»². МО Воркута расположен на территории с разведанными запасами каменного угля, что исторически определило его монопрофильность. Данная территория многие десятилетия развивалась как центр угледобычи. Однако в МО Воркута производственная деятельность на градообразующем предприятии в значительной степени свёрнута, что вызвано кризисным состоянием угольной промышленности в мире.

МО Усинск, напротив, является экономически активным, но официально не обладает статусом моногорода. Однако поскольку экономика этой территории является узкоспециализированной (нефтегазовые предприятия), фактически МО Усинск представляет монопрофильное образование. Он является примером активно растущего моногорода со стабильной социально-экономической обстановкой, что обусловлено развивающейся нефтеперерабатывающей промышленностью. Как отмечают Д.С. Кузнецов и соавт. [23], по сравнению с другими территориями Республики Коми МО Усинск находится в более благоприятном положении, что обусловлено наличием промышленных запасов для продолжения добычи нефти и газа.

Цель

Выявление особенностей в экологических установках населения на территориях с различным уровнем накопленного экологического ущерба и стадии жизненного цикла градообразующего предприятия.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одномоментное опросное исследование.

Условия проведения исследования

Фактологической основой исследования являются данные опроса населения МО Воркута и Усинск, который проводили в августе-сентябре 2024 г. Исследование выполняли как силами авторского коллектива, так и с привлечением интервьюеров социологической службы «Общественное мнение Республики Коми». Опрос проводили очно посредством анкетирования. Случайный отбор респондентов осуществляли в рамках поквартирного

² Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1398-р от 29 июля 2014 г. «О Перечне монопрофильных муниципальных образований РФ (моногородов)». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70607138/> Дата обращения: 15.05.2025.

обхода. Выборка — квотная по полу, возрастной группе и муниципальному образованию.

Целевые показатели исследования

Целевые показатели исследования включают три составляющие: территориальные особенности восприятия населением социально-экономических и экологических проблем, а также ответственности за их решение; сравнительный анализ отдельных показателей экологического поведения на исследуемых территориях; а также характеристику формирования экологического поведения на арктических территориях.

Методы измерения целевых показателей исследования

Для измерения экологических установок, а также практик экологического поведения на основе теории активации нормы мы разработали анкету (табл. 1). Ответы на её вопросы оценивали по 5-балльной шкале:

- полностью согласен;
- скорее согласен, чем не согласен;
- нейтрален;
- скорее не согласен, чем согласен;
- совершенно не согласен.

Статистические процедуры

С целью выявления статистически значимых различий в экологическом поведении между территориями мы использовали критерий χ^2 Пирсона. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. В ходе анализа тестировали гипотезы:

- H_0 — переменные «Населённый пункт» и «Оценка показателя экологического поведения» независимы;
- H_1 — переменные «Населённый пункт» и «Оценка показателя экологического поведения» связаны между собой.

Для каждого из элементов модели проверяли гипотезу о соответствии предлагаемого опросника

Таблица 1. Анкета, разработанная для исследования

Table 1. Questionnaire developed for the study

Элемент модели	Показатель	Анкетный вопрос
Осознание последствий (AC)	AC1	Нерешённые экологические проблемы могут стать серьёзным препятствием для благополучия моего города в будущем
	AC2	Нерешённые экологические проблемы города могут значительно ухудшить качество жизни моих детей в будущем
Отнесение ответственности (AR)	AR1	Экологические проблемы должны решать промышленные предприятия, корпорации и органы власти
	AR2	Экологические проблемы должны решать будущие поколения
	AR3	Я разделяю ответственность за состояние окружающей среды и решение экологических проблем
	AR4	Экологические проблемы будут решены в любом случае благодаря техническому прогрессу, усилиям бизнеса и власти
	AR5	Забота об окружающей среде — это личный выбор каждого, здесь не может быть никаких обязательств
Вера в свои возможности (SE)	SE1	Если я участвую в субботниках и других экологических мероприятиях, я подаю хороший пример другим
	SE2	В ходе выполнения повседневных дел для меня не составляет труда бережно относиться к окружающей среде
Личная норма по защите окружающей среды (PN)	PN1	Нести часть ответственности за состояние окружающей среды моего города — это моя обязанность
	PN2	Когда мне приходится наносить вред окружающей среде я испытываю чувство вины
	PN3	Я ответственен за то, чтобы убеждать других беречь природу
	PN4	Экологическая политика не должна стоить мне лишних денег
Поведенческие намерения по защите окружающей среды (BI)	BI1	Я готов поменять мой нынешний образ жизни на благо окружающей среды
	BI2	Я буду стараться вовлекать других людей в мероприятия по сохранению окружающей среды
	BI3	Я буду участвовать в экологических инициативах градообразующего предприятия, если моя помощь потребуется
	BI4	Я не буду заботиться об окружающей среде, если другие не будут заботиться
	BI5	Для экологического благополучия моего города важны совместные действия не только предприятий и местной власти, но и населения
	BI6	Я доверяю информации об экологических проблемах, поступающей от местной власти и градообразующего предприятия
	BI7	Экологические проблемы часто преувеличивают

теоретической модели активации нормы. Сперва исследовано соответствие отдельных показателей элементам модели, к которым они должны относиться согласно реализуемой методологии. Затем проанализирована взаимосвязь между элементами модели. Для этого использовали метод моделирования структурными уравнениями (Structural Equation Modeling, SEM). Данный метод реализован через библиотеку lavaan³ на языке программирования R. Для проверки выдвинутых гипотез проверяли следующую модель (записанная в нотации используемой библиотеки):

$$AR \sim AR1 + AR2 + AR3 + AR4 + AR5, \quad (1)$$

где AR — отнесение ответственности; « $\sim$ » — реализация поиска скрытых переменных;

$$SE \sim SE1 + SE2, \quad (2)$$

где SE — вера в свои возможности; « $\sim$ » — реализация регрессионной модели; « $\sim$ » — реализация поиска скрытых переменных;

$$AC \sim AC1 + AC2, \quad (3)$$

где AC — осознание последствий; « $\sim$ » — реализация регрессионной модели; « $\sim$ » — реализация поиска скрытых переменных;

$$PN \sim PN1 + PN2 + PN3 + PN4, \quad (4)$$

где PN — личная норма по защите окружающей среды; « $\sim$ » — реализация регрессионной модели; « $\sim$ » — реализация поиска скрытых переменных;

$$BI \sim BI1 + BI2 + BI3 + BI4 + BI5 + BI6 + BI7, \quad (5)$$

где BI — поведенческие намерения по защите окружающей среды; « $\sim$ » — реализация регрессионной модели; « $\sim$ » — реализация поиска скрытых переменных;

$$PN \sim AC + AR + SE, \quad (6)$$

где PN — личная норма по защите окружающей среды; AC — осознание последствий; AR — отнесение ответственности; SE — вера в свои возможности; « $\sim$ » — реализация регрессионной модели;

$$BI \sim PN + SW \quad (7)$$

где BI — поведенческие намерения по защите окружающей среды; PN — личная норма по защите окружающей среды; SE — вера в свои возможности; « $\sim$ » — реализация регрессионной модели.

При построении модели использовали метод наименьших квадратов с коррекцией для отклонений (Weighted Least Squares Mean and Variance Adjusted, WLSMV). Данный метод оптимален для моделирования на основе

категориальных переменных (например, при использовании шкалы Ликерта <7 баллов).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристика выборки

Всего опрошено 513 человек, включение/исключение из выборки проводили на основе соответствия респондента заданным квотам. Среднее отклонение структуры выборки от генеральной совокупности по половозрастным группам в целом составило 0,4%, на уровне отдельных групп не превышая значение 1,5%. Средний возраст респондентов составляет 42,6 года. В табл. 2 приведены характеристики выборочной совокупности по территории проживания, полу, образованию и роду деятельности.

Основные результаты исследования

Социально-экономическая обстановка в муниципальных округах Воркута и Усинск глазами респондентов

Рассматривая социально-экономическую обстановку в МО Воркута и Усинск с позиции выраженности проблем, характерных для них (рис. 1), можно сделать вывод, что население обоих муниципальных образований в первую очередь волнуют экономические аспекты жизни (рост тарифов и цен, доходы населения).

В то же время исследуемые территории обладают значительными различиями. Существенными проблемами на территории МО Усинск, помимо уже указанных, является приток мигрантов (64,0% респондентов отметили эту проблему) и нехватка квалифицированных специалистов (51,2% респондентов отметили эту проблему). Более 20% респондентов из МО Воркута указали в качестве проблем территории безработицу и кризис производства. В МО Усинск эти проблемы отметили 9,8 и 6,1% респондентов соответственно. Выявленная проблематика соотносится со значениями социально-демографических показателей. Если в МО Усинск выявлена относительно стабильная демографическая ситуация, приток молодых специалистов, то в МО Воркута происходит отток и старение населения — за последние 35 лет численность населения сократилась с 216 тыс. чел. в 1989 году до 67,5 тыс. чел. в 2024 году. Согласно прогнозам, численность населения МО Воркута будет снижаться и дальше [24].

Территории также характеризуются различной организацией производства и характером экологических эффектов, обусловленных деятельностью градообразующих предприятий. Добыча угля в МО Воркута происходит в непосредственной близости от населённых пунктов, что, в свою очередь, негативно сказывается на состоянии воздуха, радиационном фоне и приводит к нарушению почвенного слоя и ландшафтов в зоне проживания населения. Нефтедобыча в МО Усинск

³ Rosseel Y. lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling [Internet]. B: Journal of Statistical Software. 2012–2025. Режим доступа: <http://www.jstatsoft.org/v48/i02/> Дата обращения: 15.05.2025.

Таблица 2. Характеристики выборочной совокупности**Table 2.** Characteristics of the study sample

Характеристики выборки		Количество человек, <i>n</i>	Доля от общего числа респондентов, %
Всего		513	100,0
Территория	Муниципальный округ Воркута	349	68,0
	Муниципальный округ Усинск	164	32,0
Пол	Мужчины	248	48,3
	Женщины	265	51,7
Образование	Основное общее (школа) и ниже	41	8,0
	Начальное профессиональное	22	4,3
	Среднее профессиональное	224	43,7
	Неоконченное высшее	20	3,9
	Высшее (специалист, бакалавр, магистр)	206	40,2
Род деятельности	Работаю по найму на частном предприятии	167	32,6
	Работаю по найму в бюджетной организации	155	30,2
	Индивидуальный предприниматель, работаю сам(-а) на себя	29	5,7
	Государственный/муниципальный служащий	45	8,8
	Военнослужащий	9	1,8
	Являюсь общественным деятелем	2	0,4
	Живу за счёт временных заработков	3	0,6
	Временно не работаю, но активно ищу работу	13	2,5
	Обучающийся, студент	29	5,7
	Нахожусь на пенсии	53	10,3
	Нахожусь в отпуске по уходу за ребёнком	5	1,0
	Веду домашнее хозяйство	1	0,2
	Другое	2	0,4

удалена от населённых пунктов и, в первую очередь, влияет на состоянии почв и водоёмов. В то же время население МО Усинск в два раза чаще выделяет экологическую обстановку как одну из ключевых проблем (23,8% респондентов). В МО Воркута данный показатель составляет 11,2%.

Учитывая существенное отличие в выраженности экологической проблематики и отличий условий организации хозяйственной деятельности в МО, целесообразно представить оценку респондентами компонентов состояния окружающей среды в МО Воркута и Усинск по 5-балльной шкале, где 1 — очень плохое, 5 — очень хорошее. В табл. 3 приведено сопоставление этих оценок, а также статистическая значимость их различий.

Сопоставление оценок населением состояния компонентов окружающей среды показывает, что, за исключением компонента «Биоразнообразие», оценки в МО Усинск носят более негативный характер. Статистически значимые различия прослеживаются при оценке состояния

и качества почвы, состояния водоёмов и загрязнённости производственными отходами. Отметим, что МО Воркута является одним из наиболее загрязнённых моногородов Арктики [25]. МО Усинск представляет исследовательский кейс, в рамках которого деятельность градообразующих предприятий и сопутствующий текущий экологический ущерб от их деятельности находятся на пике. В свою очередь, МО Воркута является примером территории, где присутствует накопленный экологический ущерб от деятельности градообразующего предприятия, но текущее антропогенное воздействие снижается.

Дополним оценки экологической обстановки на исследуемых территориях информацией об ответственности за их решение. На рис. 2 приведено распределение ответов об основных ответственных за состояние окружающей среды на территории проживания.

На обеих территориях основная ответственность приписывается местной власти и крупным предприятиям. В МО Воркута эти показатели составили 89,4 и 59,6%,

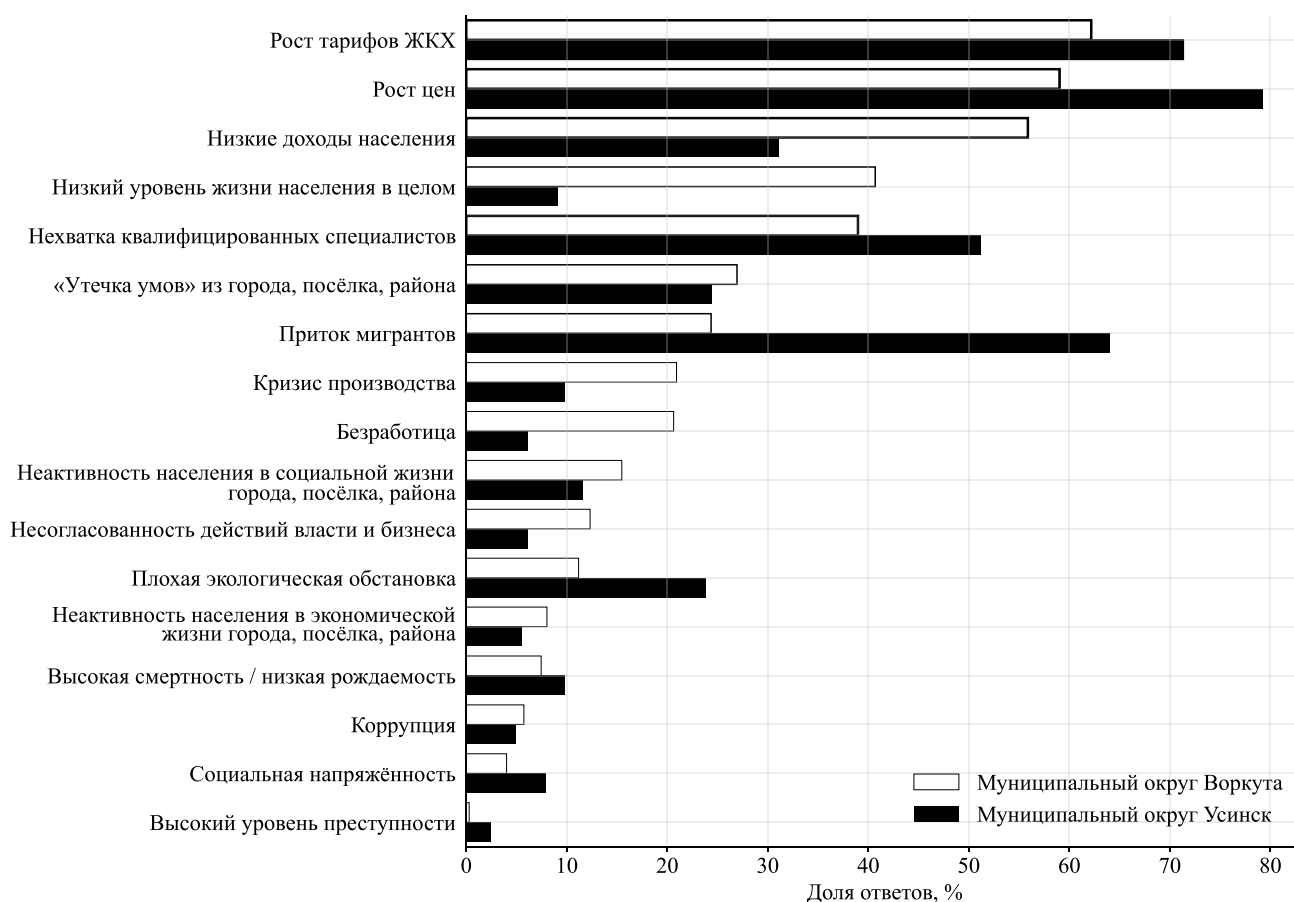


Рис. 1. Оценка проблем, которые в большей степени относят к территории проживания, доля ответов от общего числа респондентов, %. ЖКХ — жилищно-коммунальное хозяйство.

Fig. 1. Assessment of problems most often associated with the place of residence, percentage of total responses. HUS, housing and utilities sector.

в МО Усинск 75,0 и 67,1% соответственно. Более 40% респондентов на обеих территориях видят себя и других жителей ответственными за состояние окружающей среды. Основываясь на приведённых различиях территорий в оценке экологических проблем и схожем подходе к приписыванию ответственности за их решение, в рамках исследования будет проверена гипотеза о том, что экологические практики населения этих территорий будут различными.

Территориальные особенности экологического поведения населения

С целью изучения особенностей экологического поведения населения МО Воркута и Усинск по каждому из двадцати показателей модели сформированы распределения ответов респондентов (рис. 3–5). Затем на основе критерия χ^2 Пирсона проверена статистическая значимость различий в оценке того или иного показателя экологического поведения между респондентами из МО Воркута и Усинск.

Таблица 3. Сопоставление оценок компонентов окружающей среды в муниципальных округах Воркута и Усинск

Table 3. Comparison of environmental component assessments in the municipal district of Vorkuta and Usinsk

Компоненты состояния окружающей среды	Средние значения		Статистическое сравнение	
	МО Воркута	МО Усинск	t	p
Биоразнообразие (животный и растительный мир)	3,17	3,44	-2,871	0,004*
Состояние и качество почвы	3,20	2,95	2,678	0,008*
Качество питьевой воды	3,22	3,07	1,468	0,143
Состояние водоёмов	3,14	2,82	3,100	0,002*
Состояние воздуха	3,11	3,00	1,101	0,272
Загрязнённость отходами производственного потребления	2,87	2,54	3,062	0,002*
Загрязнённость бытовыми отходами	2,74	2,76	-0,182	0,856

Примечание. * — статистически значимые различия. МО — муниципальный округ.

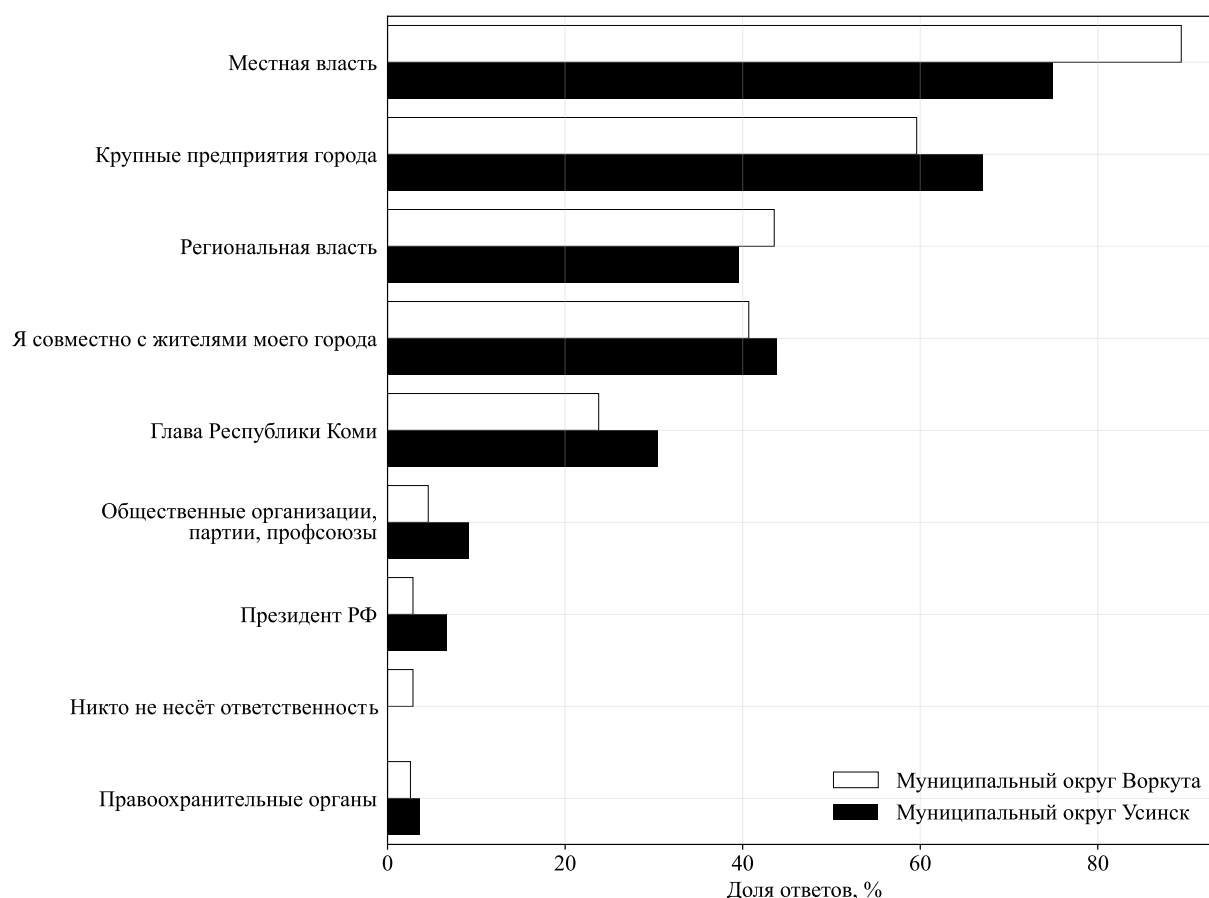


Рис. 2. Распределение основной ответственности за состояние окружающей среды на территории проживания, доля ответов от общего числа респондентов, %. РФ — Российская Федерация.

Fig. 2. Distribution of primary responsibility for the state of the environment in the place of residence, proportion of total responses. RF, Russian Federation.

На рис. 3 приведены распределения ответов для показателей, характеризующих факторы экологического поведения: осознание последствий от существующих экологических проблем (АС) и приписывание ответственности за их решение (АР). Здесь и далее в названии каждого графика отражено название элемента модели теории активации нормы, а также конкретный показатель экологического поведения, соответствующий анкетным вопросам (см. табл. 1).

Различия в распределении значений показателей, отражающих осознание населением последствий существующих экологических проблем, между исследуемыми территориями не являются статистически значимыми (АС1: $\chi^2=3,5$, $p=0,4$, $df=4$; АС2: $\chi^2=5,9$, $p=0,2$, $df=4$). Обратная ситуация наблюдается при оценке показателей, отражающих отнесение ответственности за решение экологических проблем и защиту окружающей среды: распределение ответов по всем переменным статистически значимо различается (АР1: $\chi^2=18,8$, $p=0,001$, $df=4$; АР2: $\chi^2=20,9$, $p<0,001$, $df=4$; АР3: $\chi^2=14,5$, $p=0,01$, $df=4$; АР4: $\chi^2=14,5$, $p=0,005$, $df=4$; АР5: $\chi^2=44,1$, $p<0,001$, $df=4$).

На рис. 4 приведено распределение ответов респондентов на вопросы, характеризующие веру респондентов

в свои возможности и личные нормы, связанные с защитой окружающей среды.

Статистически значимых различий в ответах на вопросы, измеряющие веру респондентов в свои возможности, между МО Воркута и Усинск не выявлено (SE1: $\chi^2=6,9$, $p=0,13$, $df=4$; SE2: $\chi^2=1,7$, $p=0,78$, $df=4$). Аналогичная тенденция выявлена при анализе одного из показателей, характеризующих личные нормы по защите окружающей среды (PN1). Статистически значимых различий в ответах на этот вопрос не выявлено (PN1: $\chi^2=8,2$, $p=0,08$, $df=4$). Остальные три показателя, характеризующие личную норму по защите окружающей среды, статистически значимо различаются в зависимости от территории (PN2: $\chi^2=10,5$, $p=0,03$, $df=4$; PN3: $\chi^2=17,9$, $p=0,001$, $df=4$; PN4: $\chi^2=33,7$, $p<0,001$, $df=4$).

На рис. 5 приведено распределение ответов респондентов на вопросы, характеризующие их поведенческие намерения по защите окружающей среды, детерминированные рассмотренными выше психологическими факторами.

Результаты статистического анализа демонстрируют, что значимые различия между территориями характерны для пяти из семи показателей, отражающих факторы проэкологического поведения в модели S.H. Schwartz [17]

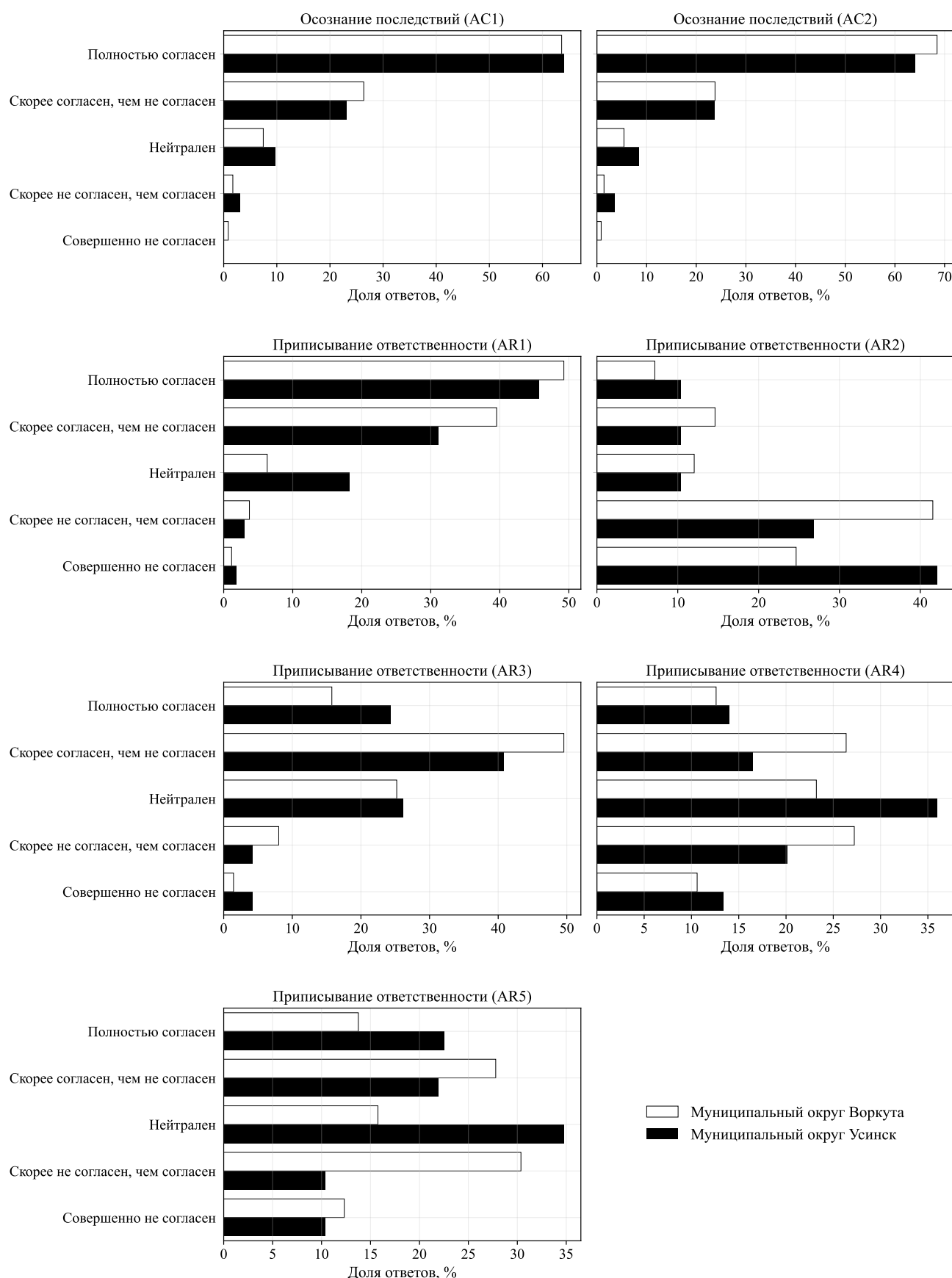


Рис. 3. Распределение ответов респондентов на вопросы, характеризующие осознание последствий от экологических проблем и восприятие ответственности за их решение.

Fig. 3. Distribution of respondents' answers to questions reflecting awareness of the consequences of environmental problems and perception of responsibility for their resolution.

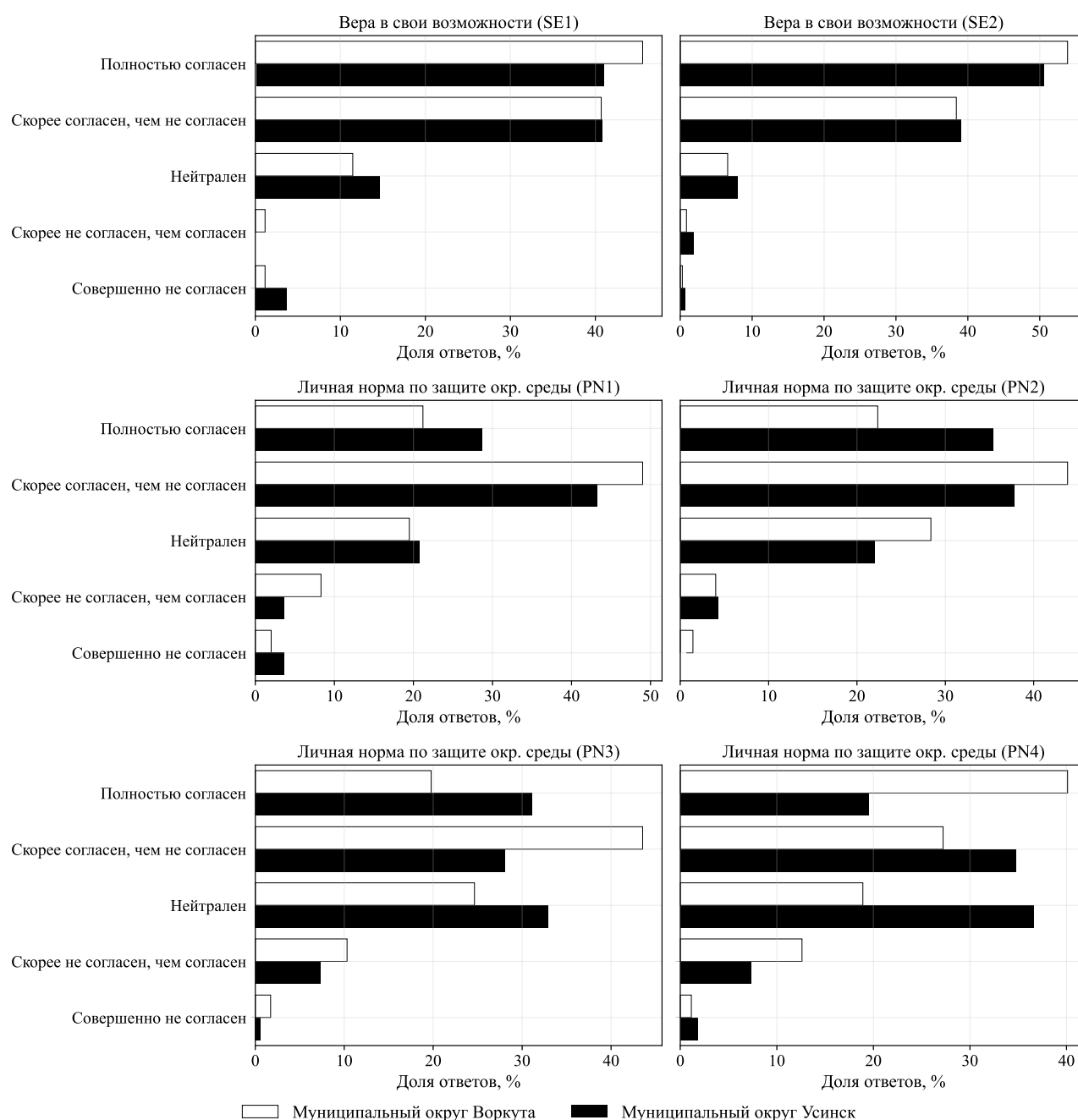


Рис. 4. Распределение ответов респондентов на вопросы, характеризующие веру респондентов в свои возможности и личные нормы по защите окружающей среды.

Fig. 4. Distribution of respondents' answers to questions reflecting respondents' belief in their capabilities and personal norms regarding environmental protection.

(BI1: $\chi^2=19,2$, $p < 0,001$, $df=4$; BI2: $\chi^2=15,4$, $p=0,004$, $df=4$; BI4: $\chi^2=51,6$, $p < 0,001$, $df=4$; BI6: $\chi^2=45,7$, $p < 0,001$, $df=4$; BI7: $\chi^2=51,0$, $p < 0,001$, $df=4$;) и отсутствуют у двух показателей (BI3: $\chi^2=10,5$, $p=0,03$, $df=4$; BI5: $\chi^2=6,9$, $p=0,13$, $df=4$).

Сопоставление структуры ответов респондентов в МО Воркута и Усинск по каждому из рассмотренных показателей, составляющих блоки модели S.H. Schwartz [17], позволяет выделить три, по которым экологическое поведение на этих территориях различается наиболее сильно. Это показатели AR5, PN4 и BI4. Опираясь на полученные данные, можно выделить особенности восприятия

ответственности: для жителей МО Усинск экологическое поведение рассматривается как личный выбор каждого, важным компонентом которого является участие окружающих; для населения МО Воркута оно воспринимается скорее как общественная обязанность, при этом предпринимаемые действия не должны затрагивать материальные интересы.

Формирование экологического поведения

Традиционно для эмпирической проверки гипотезы о детерминированности экологического поведения

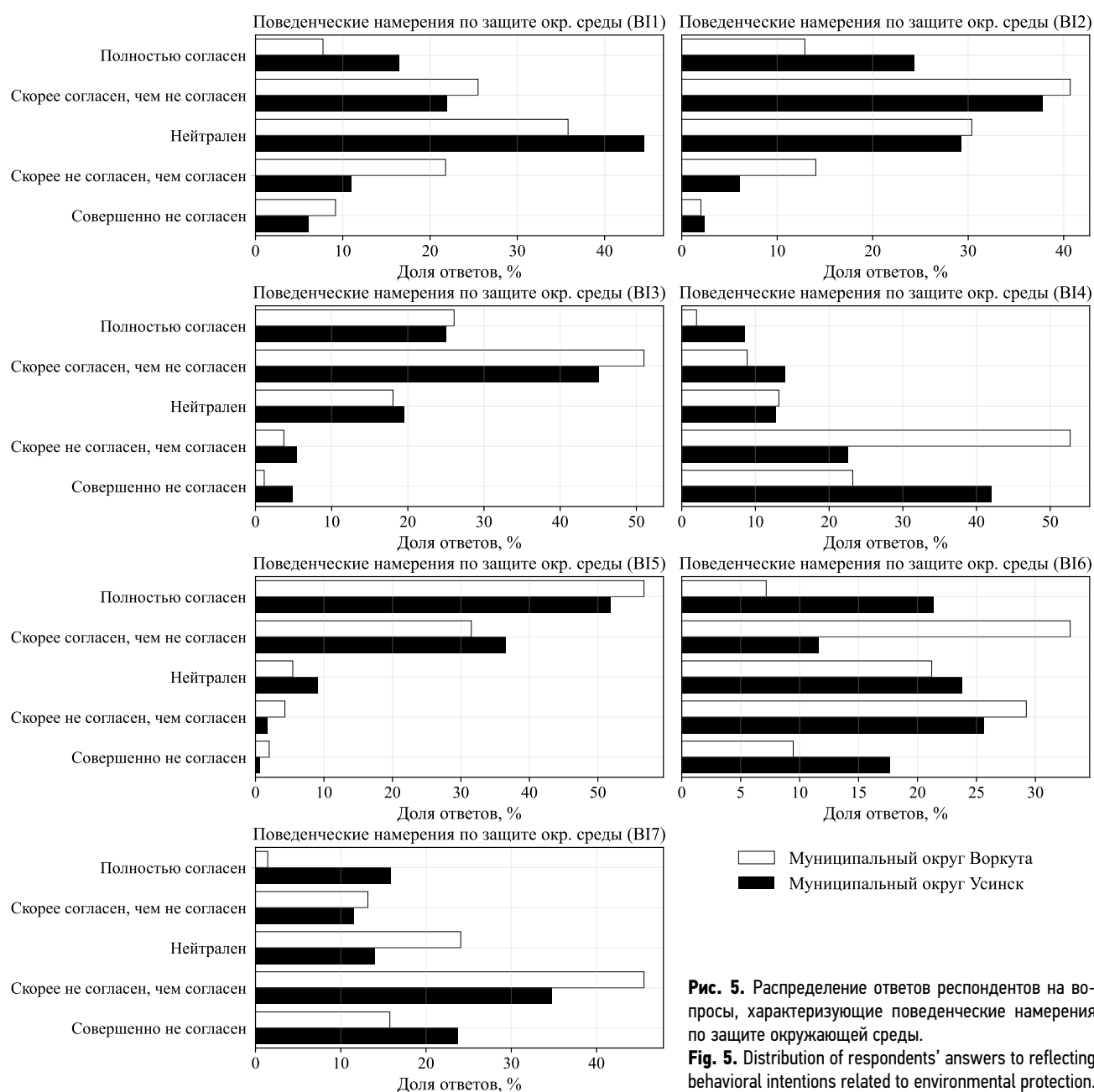


Рис. 5. Распределение ответов респондентов на вопросы, характеризующие поведенческие намерения по защите окружающей среды.

Fig. 5. Distribution of respondents' answers to reflecting behavioral intentions related to environmental protection.

(BI) активацией нормы по защите окружающей среды используют моделирование структурными уравнениями [18, 19, 26]. В данном исследовании мы применяли этот метод для верификации разработанного опросника (см. табл. 1), а также определения взаимосвязей между исследуемыми переменными.

При моделировании выявлено, что использование данных сразу по обеим исследуемым территориям, негативно сказывается на результирующей модели. Это обусловлено, в том числе, выявленными различиями в экологическом поведении населения МО Воркута и Усинск. Оценка соответствия модели данным для МО Воркута показала, что в целом её можно считать приемлемой. Однако выявлены признаки неполного соответствия теоретической модели. Так, $\chi^2=491,4$ ($df=127$,

$p < 0,001$), что указывает на статистически значимое различие между наблюдаемыми данными и моделью. В то же время показатели согласия модели остаются на удовлетворительном уровне: CFI=0,951 (отличный показатель $>0,95$); TLI=0,941 (хорошо $>0,90$); RMSEA=0,091 (пороговое значение $>0,08$, чуть выше нормы) и SRMR=0,093 на грани приемлемого уровня (порог $<0,08$ считается хорошим, значение $<0,10$ допустимо). Таким образом, результирующая модель в целом приемлема.

Результаты моделирования для МО Усинск свидетельствуют о том, что данные плохо соответствуют теоретической модели ($\chi^2=995,43$, $df=162$, $p=0,001$; CFI=0,846; TLI=0,819; RMSEA=0,178; SRMR=0,154). Именно поэтому для дальнейшего анализа использовали данные только МО Воркута.

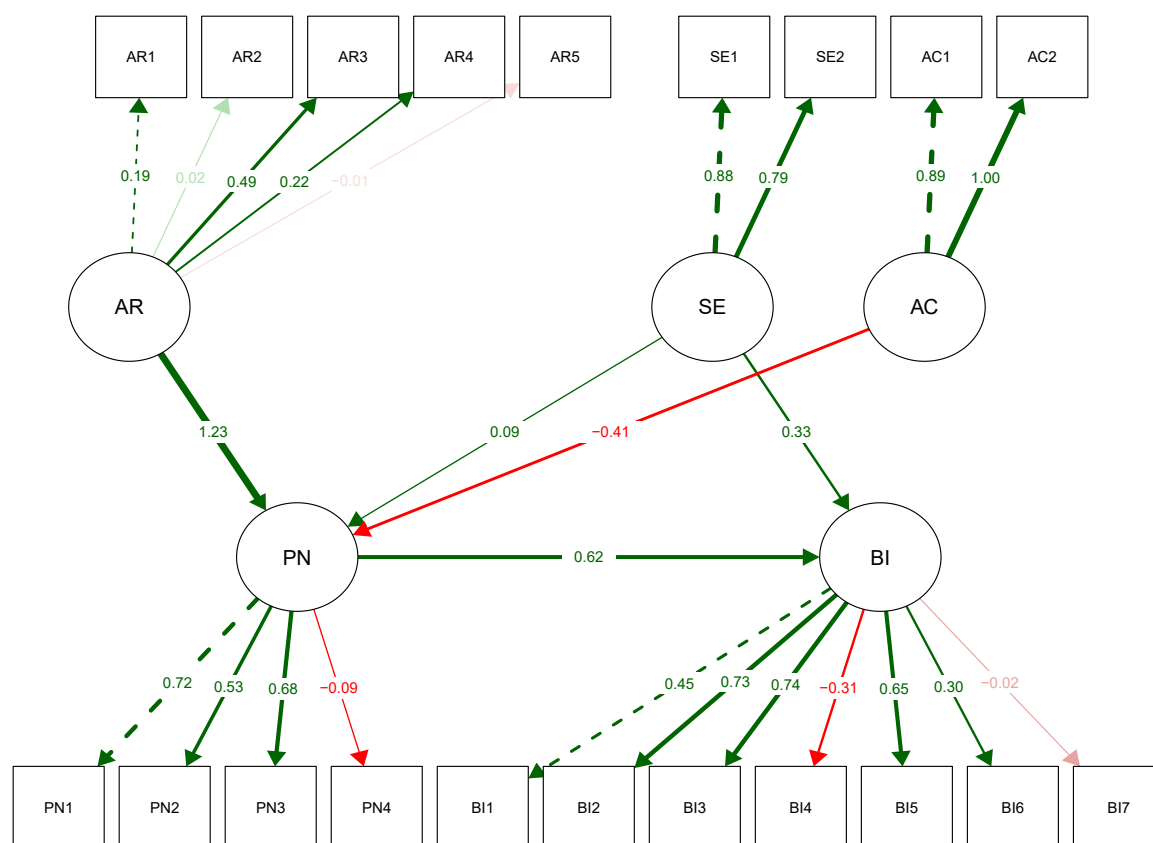


Рис. 6. Диаграмма путей модели активации нормы по защите окружающей среды в муниципальном округе Воркута.

AC — осознание последствий; AR — отнесение ответственности; SE — вера в свои возможности; PN — личная норма по защите окружающей среды; BI — поведенческие намерения по защите окружающей среды.

Fig. 6. Path diagram of the norm activation model for environmental protection in the municipal district of Vorkuta.

AC, Awareness of Consequences; AR, Ascription of Responsibility; SE, Self-Efficacy; PN, Personal Norm to Protect Environment; BI, Behavioral Intentions.

На рис. 6 продемонстрирована диаграмма путей взаимодействия отдельных переменных модели активации нормы по защите окружающей среды на примере МО Воркута. Зелёным цветом обозначены прямые зависимости. Красным цветом обозначены обратные взаимосвязи, поскольку перекодирование переменных, предполагающих обратное смысловое значение по отношению к другим переменным, не проводили. Толщина линии — визуальное представление силы связи между переменными. Пунктирная линия от латентной переменной обозначает показатель, на основе которого нормировались все остальные значения, образующие одну скрытую переменную.

В первую очередь результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что не все связи, предполагающиеся в теоретической модели, нашли своё отражение в эмпирической модели. Из пяти показателей, характеризующих приписывание ответственности за защиту окружающей среды (AR), значимыми являются только три (AR1, AR3, AR4). На практике это означает, что лишь эти утверждения при использовании разработанной анкеты позволяют оценить искомый психологический фактор. Наибольшее влияние на итоговое отнесение ответственности оказывает её личное принятие за состояние окружающей среды и решение экологических проблем (AR3).

Показатели, формирующие психологические факторы «Осознание последствий» (AC) и «Вера в свои возможности» (SE), продемонстрировали более высокую точность, что свидетельствует о надёжности использованной анкеты для их измерения. Взаимосвязь между наблюдаемыми и латентными переменными является достаточно сильной.

Выявлено, что осознание последствий от существующих экологических проблем (AC) отрицательно влияет на формирование личной нормы (PN). Данная закономерность не находит логического объяснения на практике, что требует проведения дополнительных исследований. Учитывая, что подобная взаимосвязь является статистически незначимой, это может быть обусловлено особенностями взаимодействия переменных. Отметим, что отсутствие статистической значимости не всегда обозначает практическую бесполезность переменной.

Если рассматривать показатели, составляющие блок личных норм по защите окружающей среды (PN), то можно сказать, что все они также являются значимыми хоть и в разной степени влияют на латентную переменную. В то же время для улучшения качества модели в будущем показатель PN4 может быть переформулирован либо исключён. Наиболее важным показателем,

характеризующим личную норму, является принятие ответственности за то, чтобы убеждать других беречь природу (PN3). Принятие обязательства нести часть ответственности за состояние окружающей среды территории проживания также достаточно выражено влияет на личную норму (PN1).

В блоке поведенческих намерений по защите окружающей среды (BI) наибольшую значимость продемонстрировали показатели, отражающие вовлечение других людей в мероприятия по сохранению окружающей среды (BI2), готовность к участию в экологических инициативах градообразующего предприятия (BI3), а также согласие с утверждением о том, что для экологического благополучия территории проживания важны совместные действия не только предприятий и местной власти, но и населения (BI5). При этом показатель BI7 имеет статистически незначимую нагрузку ($-0,018$, $p=0,747$) и может быть исключён из модели при её дальнейшем использовании.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Результаты исследования позволяют утверждать, что экологическое поведение населения на территориях с различной социально-экономической обстановкой различается по отдельным показателям, но в целом имеет общие тенденции.

Интерпретация результатов исследования

По данным на рис. 3, в целом респонденты обеих территорий солидарны во мнении, что нерешённые экологические проблемы могут стать серьёзным препятствием для благополучия их города в будущем (AC1) и ухудшить качество жизни их детей в будущем (AC2): с данными тезисами согласны 90% респондентов (варианты ответа «Полностью согласен» и «Скорее согласен, чем не согласен»⁴). Полученные результаты позволяют говорить о достаточно высокой осведомлённости населения о значимости экологических угроз для будущего значимых объектов. Данный аспект формирует основу дальнейшего развития проэкологической мотивации населения.

Для исследуемых территорий также характерны общие тенденции, связанные с уверенностью респондентов в собственных возможностях по защите окружающей среды: большинство согласны с тем, что участие в субботниках и других экологических мероприятиях служит положительным примером для окружающих (SE1), а бережное отношение к природе является для них вполне осуществимой задачей (SE2).

Также респонденты исследуемых территорий в равной мере солидарны с тем, что нести часть ответственности

за состояние окружающей среды своего города — это их обязанность (PN1). С данным утверждением согласны 70% опрошенных. Респонденты из МО Усинск склонны чаще испытывать чувство вины, когда им приходится наносить вред окружающей среде (PN2), 73,1% опрошенных ответили на данный вопрос положительно. Различия с МО Воркута по данному аспекту не столь значительны. В то же время респонденты из МО Усинск в большей степени считают себя ответственными за необходимость убеждать других беречь природу (PN3): вариант ответа «Полностью согласен» выбрали 31,1% опрошенных, тогда как в МО Воркута — 19,7%. При этом 43,5% респондентов из МО Воркута и 28,0% из МО Усинск отметили вариант «Скорее согласен, чем не согласен». В то же время 67,3% респондентов из МО Воркута выразили согласие с утверждением, что экологическая политика не должна стоить им лишних денег (PN4). В МО Усинск такие ответы дали 54,2% респондентов. Очевидно, большая обеспеченность жителей МО Усинск обуславливает относительно большее принятие связанных с заботой об окружающей средой издержек: средний личный доход респондента в МО Усинск составил 68,4 тыс. рублей, в МО Воркута — 62,5 тыс. рублей. Влияние уровня доходов на выраженность установок экологической ответственности подтверждается результатами исследования В.А. Прохода [12].

Население МО Воркута и Усинск едино во мнении, что для экологического благополучия города проживания важны совместные действия не только предприятий и местной власти, но и населения (BI5). Согласие с этим утверждением на обеих территориях выразили 88,0% респондентов. При этом преобладали оценки, выражающие полное согласие, что подтверждает тезис о том, что экологические проблемы могут быть решены только во взаимодействии бизнеса, власти и общества. Данное утверждение подкрепляется анализом показателя, отражающего готовность участия респондентов в экологических инициативах градообразующего предприятия (BI3): на каждой из исследуемых территорий в них готовы участвовать свыше 70%. В то же время сопоставление ответов на эти два вопроса позволяет сделать вывод о том, что респонденты не всегда соотносят эти два поведенческих намерения. Из выразивших мнение, что решение экологических проблем — это совместная работа, готовность принять участие в экологических инициативах выразили 78,5%. Этот результат демонстрирует, что респонденты, понимая необходимость совместного решения проблем, не всегда готовы участвовать в экологических инициативах градообразующих предприятий.

Анализ приведённых показателей, отражающих приписывание ответственности за решение экологических проблем, позволяет сделать вывод, что жители МО Усинск в меньшей степени склонны относить ответственность к кому-либо за решение экологических проблем, поскольку, за исключением показателя AR2 («Экологические проблемы должны решать будущие поколения»), преобладают

⁴ Здесь и далее при анализе рассматривается группа респондентов, выбравших данные два варианта ответа.

ответы «Нейтрален». В то же время респонденты в МО Воркута относительно чаще считают, что экологические проблемы должны решать промышленные предприятия, корпорации и органы власти (AR1). Несогласных с утверждением о том, что забота об окружающей среде — это личный выбор каждого (AR5) среди населения МО Воркута в два раза больше — 42,6 против 20,7% у респондентов из МО Усинск. По нашему мнению, такое распределение ответов в первую очередь связано с наличием большего накопленного экологического ущерба в МО Воркута.

Перейдём к обсуждению оставшихся пяти показателей, характеризующих разницу в поведенческих намерениях населения по защите окружающей среды в МО Воркута и Усинск. Если говорить о готовности поменять нынешний образ жизни на благо окружающей среды (BI1), то большинство респондентов на обеих территориях склонны давать нейтральный ответ. Анализ ответов, выражающих несогласие, позволяет утверждать, что население МО Воркута в меньшей степени готово пожертвовать для этого своим привычным образом жизни (ответы «Скорее не согласен, чем согласен» и «Совершенно не согласен» дали 30% опрошенного населения). Доля респондентов с аналогичными установками в МО Усинск составляет 17,0%. Схожая тенденция отмечена в распределении ответов для утверждения «Я буду стараться вовлекать других людей в мероприятия по сохранению окружающей среды» (BI2). Большинство опрошенных на обеих территориях согласны с ним (53,5 и 62,2% в МО Воркута и Усинск соответственно), однако доля несогласных с данным утверждением в МО Воркута в два раза выше, чем в МО Усинск (16,0 против 8,5%).

При этом в МО Воркута выше уровень доверия к информации об экологических проблемах, поступающей от местной власти и градообразующего предприятия (BI6) (40,1% респондентов). В МО Усинск этот показатель составляет 32,9%. В то же время 27,4% респондентов из МО Усинск выразили мнение, что экологические проблемы часто преувеличивают (BI7). Среди респондентов, проживающих в МО Воркута, этот показатель составил 14,6%. В целом для обеих территорий большинство респондентов не согласны с этим утверждением. Полученные результаты коррелируют с выводами Е.В. Недосеки [21] о том, что уровень доверия к органам власти является важным фактором, формирующим экологическую повестку.

Кроме того, для обеих территорий характерно несогласие респондентов с утверждением «Я не буду заботиться об окружающей среде, если другие не будут заботиться» (BI4) — 64,6% в МО Усинск и 75,9% в МО Воркута. В то же время доля согласных с ним в МО Усинск составляет 22,5%, что в два раза выше соответствующего значения в МО Воркута.

Перейдём к рассмотрению влияния психологических факторов, формирующих личные нормы по защите окружающей среды (PN) и поведенческие намерения (BI). Моделирование процесса формирования экологического

поведения населения МО Воркута показало, что вера в собственные возможности в сфере защиты окружающей среды (SE) и личная норма (PN) действительно влияют на формирование экологического поведения (BI). Наибольшее влияние на латентную переменную PN оказывает фактор приписывания ответственности за защиту окружающей среды (AR). В свою очередь, вера в собственные возможности (SE) оказывает минимальное, но статистически значимое воздействие. Отметим, что этот показатель в большей степени непосредственно влияет на поведенческие намерения по защите окружающей среды (BI). В целом такие результаты являются закономерными, поскольку вера в собственные возможности важнее при переходе к непосредственным действиям. Аналогичные результаты о влиянии веры в свои силы на формирование личной нормы были получены в исследовании по сокращению пищевых отходов [18]. Несмотря на особенности взаимодействия переменных, подтверждается гипотеза о влиянии осознания последствий от существующих и потенциальных экологических проблем на формирование экологического поведения. Влияние осознания последствий (AC) на экологически ответственное поведение также выявлено в исследовании поведения фермеров в Иране [27].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что формирование у населения осознания последствий от загрязнения окружающей среды, определение границ ответственности за решение экологических проблем и повышение уверенности у населения веры в возможность повлиять на защиту экологии позитивно сказываются на экологических установках.

Ограничения исследования

Анализ результирующей модели активации нормы в области защиты окружающей среды позволяет сделать вывод, что разработанная анкета нуждается в дальнейшей доработке. В частности, могут быть использованы более чувствительные шкалы, а также уточнены формулировки некоторых вопросов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволило выявить особенности восприятия экологических проблем населением моногородов Воркута и Усинск в контексте различий в уровне накопленного экологического ущерба на этих территориях и стадии жизненного цикла градообразующих предприятий. Установлено, что экологическая проблематика, хотя и не занимает ведущих позиций в иерархии актуальных для населения вопросов, приобретает большую значимость по мере интенсификации хозяйственной деятельности промышленных предприятий и нарастания её последствий для окружающей среды.

Результаты анализа указывают на наличие как общих, так и территориально-специфических

тенденций в восприятии ответственности за решение экологических проблем. В условиях снижения социальной и экономической устойчивости возрастает роль органов власти и промышленных предприятий как основных субъектов, на которых возлагается ответственность за устранение накопленного экологического ущерба. При этом наблюдается ограниченная готовность населения к личному участию в экологических инициативах, что может быть связано с низким уровнем доверия к существующим каналам экологической коммуникации, а также с размытостью границ индивидуальной ответственности. Такой подход является закономерным, поскольку снижение активности или приостановка деятельности градообразующих предприятий на практике размывают ответственность за устранение накопившегося экологического эффекта.

Сравнительный анализ территорий показал, что экологические установки населения формируются в тесной связи с социально-экономическим контекстом, уровнем институционального доверия, а также степенью вовлечённости населения в процессы принятия решений в сфере охраны окружающей среды. Полученные данные позволяют утверждать, что экологическое поведение в арктических моногородах определяется не только объективными экологическими условиями, но и субъективными представлениями о возможностях влияния на ситуацию, а также уровнем социальной идентификации с местным сообществом и органами управления.

Таким образом, выявленные особенности экологических установок свидетельствуют о необходимости разработки адаптивных механизмов экологического управления, учитывающих территориальную специфику, уровень экологической нагрузки и особенности взаимодействия населения с ключевыми институциональными субъектами территорий. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется более детальное изучение механизмов формирования экологического поведения населения в различных социально-экономических условиях.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.О. Аверьянов — анализ эмпирических данных и моделирование, анализ литературы, написание и редактирование текста рукописи; Н.А. Рослякова — сбор эмпирических данных, анализ литературных данных, редактирование текста рукописи; А.Д. Волков — разработка методологии исследования, сбор эмпирических данных, редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию

для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо, т.к. основными методами исследования являются статистический анализ и моделирование структурными уравнениями.

Источники финансирования. Исследование выполнено в рамках государственного задания Центра изучения северных территорий Карельского научного центра Российской академии наук «Вопросы обеспечения экологической безопасности в Арктике (FMEN-2024-0013): № 124053000099-7».

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.O. Averyanov: formal analysis, methodology, resources, writing—original draft, writing—review & editing; N.A. Roslyakova: data curation, resources, writing—review & editing; A.D. Volkov: methodology, data curation, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable, as the primary research methods were statistical analysis and structural equation modeling.

Funding sources: This study was carried out under the state assignment to the Center for the Study of Northern Territories, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, "Issues of Ensuring Environmental Safety in the Arctic" (FMEN-2024-0013, Project ID 124053000099-7).

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Dmitrieva DM, Chanysheva AF. Contribution of Mining Companies to the Sustainable Development of the Mineral Resource Base of the Arctic region: A new Approach to Ranking Key Actors and Assessing Their Interaction. *The North the Market: Forming the Economic Order*. 2024;27(2):71–87. doi: 10.37614/2220-802X.2.2024.84.006 EDN: QFUJQR
2. Manzhurov IL, Astafeva OV, Deryagina SE, Antonov KL. The Issue of Accumulated Ecological Damage in the Territory of the Yamalo-Nenets

Autonomous Area: Current State. *Problemy regional'noi ekologii*. 2014;(2):52–57. EDN: SFOXTP

3. Tikhonova TV. The Directions of Reduction of Accumulated Environmental Damage on Arctic Territories of the European Northeast. *Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences*. 2015;(3):149–155. EDN: UMEHQF

4. Pitukhina MA, Belykh AD. Environmental Problems of the Russian Arctic Single-Industry Towns in the Population Estimates. *Arctic: Ecology and Economy*. 2023;13(4):590–600. doi: 10.25283/2223-4594-2023-4-590-600 EDN: XKJEFB
5. Potravny IM, Novikov AV, Chávez Ferreyra KYE. Liquidation of Objects of Accumulated Environmental Damage in the Coastal Arctic Zone Based on Esg-financing Methods. *Ecology and Industry of Russia*. 2022;26(10): 60–65. doi: 10.18412/1816-0395-2022-10-60-65 EDN: YDHZPB
6. Nedoseka EV, Kozlovskiy VV. Regional Specifics of Municipal Solid Waste Management in Arctic Regions of the Russian Federation. *Arctic and North*. 2021;42:223–241. doi: 10.37482/issn2221-2698.2021.42.223 EDN: WLUQSZ
7. Chmel KSh, Klimova AM, Mitrokhina EM. The Politicization of Environmental Discourse in Arkhangelsk Region: The landfill Site at Shies Railroad Station. *The Journal of Social Policy Studies*. 2020;18(1):83–98. doi: 10.17323/727-0634-2020-18-1-83-98 EDN: YSUZUU
8. Prudskiy VG, Fedoseeva SS, Balandin DA. Managing the Environmental Infrastructure Development of the Russian Arctic territorial space. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2022;12(5): 1493–1510. doi: 10.18334/epp.12.5.114600 EDN: HZEWEJ
9. Yanitskiy ON. Actors and Resources of Socio-Ecological Modernization. *Sotsiologicheskie issledovaniya*. 2007;(8):3–12. EDN: IATVKL
10. Yanitskii ON. Conception of Eco-social Knowledge Revisited. *Sotsiologicheskie issledovaniya*. 2014;(4):3–13. EDN: SEIJKF
11. Sosunova IA. Ecological Culture as Basis of Education for Sustainable Development. *Herald of the International Academy of Science, Russian Section*. 2008;(2):33–41. EDN: OMTFGD
12. Prokhoda VA. Environmental Responsibility of the Population: Experience of Sociological measurement. *Chelovek*. 2023;34(3): 146–164. doi: 10.31857/S023620070026110-8 EDN: EVCNHS
13. Lektorova JI, Prudnikov AI, Kolkutina VP, et al. Government Reform of Production and Consumption Waste Management in the Context of Public Expectations. *Ars Administrandi*. 2023;15(4):622–651. doi: 10.17072/2218-9173-2023-4-622-651 EDN: MFRALO
14. Kosygina K, Ukhanova Y, Zhdanova A. Environmental Situation in Russia: Analysis of Public Opinion in Regions. *Social Area*. 2022;8(3):1–15. doi: 10.15838/sa.2022.3.35.8 EDN: OYRUTC
15. Ryumina EV. Shortcomings of the Environmental Behavior of Families: Excessive Consumption. *Population*. 2024;27(S1):190–201. doi: 10.17323/727-0634-2020-18-1-83-98 EDN: JRBUIY
16. Ermolaeva PO, Ermolaeva YuV. Critical Analysis of Foreign Theories of Environmental Behavior. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*. 2019;(4):323–346. doi: 10.17323/727-0634-2020-18-1-83-98 EDN: VUDGPJ
17. Schwartz SH. Normative Influences on Altruism. *Advances in Experimental Social Psychology*. 1977;10:221–279. doi: 10.1016/S0065-2601(08)60358-5
18. Wang J, Li M, Li S, Chen K. Understanding Consumers' Food Waste Reduction Behavior—A Study Based on Extended Norm Activation Theory. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(7):4187. doi: 10.3390/ijerph19074187 EDN: PEXYUH
19. Gist ME, Mitchell TR. Self-Efficacy: A Theoretical Analysis of Its Determinants and Malleability. *The Academy of Management Review*. 1992;17(2):183–211. doi: 10.2307/258770 EDN: BLWZBT
20. Aleksandrova ES. The Relationship between Personal Values of an Individual and Pro-Ecological Behavior in the Context of Increasing Anthropogenic Load on the Environment. *Voprosy ustoychivogo razvitiya obshchestva*. 2021;(10):328–338. EDN: TJLQXK
21. Nedoseka E. Environmental Agenda in the Consciousness of Residents of Industrial Regions of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Problems of Territory's Development*. 2022;26(1):80–92. doi: 10.15838/ptd.2022.1.117.6 EDN: QPDRES
22. Tikhonova T. Ecological Factor of Prospective Development of Mineral Resources of the Northern Region. *Problems of Territory's Development*. 2021;25(5):88–104. doi: 10.15838/ptd.2021.5.115.6 EDN: NDFNT
23. Kuznetsov D, Lazhentsev V. Arctic Mining Cities Development of the Komi Republic. *Problems of Territory's Development*. 2025;29(2):10–27. doi: 10.15838/ptd.2025.2.136.2 EDN: BMQYRX
24. Fauzer VV, Lytkina TS, Klimenko VA. Demographic Development of Vorkuta City District – Component of Arctic Russian Region. *Ekonomicheskaya nauka segodnya*. 2017;(6):185–198. doi: 10.21122/2309-6667-2017-6-185-198 EDN: YMWXAB
25. Pitukhina MA, Belykh AD. Environmental Monitoring of Industrial Single-Industry Towns in the Arctic: Analyses and Recommendations. *Russia: Society, Politics, History*. 2024;(1):135–155. doi: 10.56654/ROPI-2024-1(10)-135-155 EDN: RLMAVJ
26. Jakovcevic A, Steg L. Sustainable transportation in Argentina: Values, Beliefs, Norms and Car Use Reduction. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2013;20:70–79. doi: 10.1016/j.trf.2013.05.005
27. Savari M, Damaneh HE, Damaneh HE, Cotton M. Integrating the Norm Activation Model and Theory of Planned Behaviour to Investigate Farmer Pro-Environmental Behavioural Intention. *Scientific Reports*. 2023;13(1):5584. doi: 10.1038/s41598-023-32831-x EDN: MZTRHQ

ОБ АВТОРАХ

* Аверьянов Александр Олегович;

адрес: Россия, 185035, Петрозаводск, пр-кт Ленина, д. 31;
ORCID: 0000-0003-2884-8110;
eLibrary SPIN: 1194-8767;
e-mail: aver@petsu.ru

Рослякова Наталья Андреевна, канд. экон. наук;

ORCID: 0000-0002-7511-2141;
eLibrary SPIN: 7405-4998;
e-mail: na@roslyakova24.ru

Волков Александр Дмитриевич, канд. экон. наук;

ORCID: 0000-0003-0451-8483;
eLibrary SPIN: 2133-8597;
e-mail: kov8vol@gmail.com

AUTHORS' INFO

* Aleksandr O. Averyanov;

address: 31 Lenin ave, Petrozavodsk, Russia, 185035;
ORCID: 0000-0003-2884-8110;
eLibrary SPIN: 1194-8767;
e-mail: aver@petsu.ru

Natalia A. Roslyakova, Cand. Sci. (Economics);

ORCID: 0000-0002-7511-2141;
eLibrary SPIN: 7405-4998;
e-mail: na@roslyakova24.ru

Alexander D. Volkov, Cand. Sci. (Economics);

ORCID: 0000-0003-0451-8483;
eLibrary SPIN: 2133-8597;
e-mail: kov8vol@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Стойкие органические токсиканты в грудном молоке женщин Сахалинской области и оценка риска для здоровья младенцев

Е.К. Миронова¹, А.И. Каракулова¹, М.М. Донец², А.В. Литвиненко^{2,3}, В.Ю. Цыганков²

¹ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;

² Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия;

³ Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, наиболее достоверным индикатором негативного воздействия стойких органических загрязнителей на здоровье человека является определение их содержания в грудном молоке. Поскольку человек находится на вершине трофической пирамиды, исследование грудного молока позволяет выявить потенциальные источники загрязнения в окружающей среде и оценить риски для здоровья новорождённых.

Цель исследования. Определение хлорорганических пестицидов (гексахлорциклогексана и дихлордифенилтрихлорэтана) и полихлорированных бифенилов в грудном молоке женщин Сахалинской области, а также оценка риска для здоровья младенцев при употреблении грудного молока, содержащего стойкие органические загрязнители.

Методы. Проведена серия одномоментных исследований (в 2022 и 2023 гг.). Проанализированы образцы грудного молока женщин, постоянно проживающих на территории Сахалинской области. Сбор пробы осуществляли сотрудники нескольких учреждений здравоохранения при наличии письменного согласия участниц исследования. Концентрации хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов в образцах грудного молока определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии.

Результаты. Всего исследовано 57 проб грудного молока женщин, проживающих на территории Сахалинской области: в 2022 году — 26 образцов; в 2023 — 31. Стойкие органические загрязнители выявлены во всех пробах грудного молока. Высокие концентрации дихлордифенилтрихлорэтана и гексахлорциклогексана могут быть связаны с периодическими всплесками численности вредителей и последующей обработкой лесных массивов ядохимикатами. Присутствие в пробах полихлорированных бифенилов указывает на поступление в окружающую среду техногенных загрязнителей, преимущественно из источников, связанных с судоходством и эксплуатацией оборудования, содержащего данные вещества (трансформаторов, конденсаторов и других агрегатов). Преобладание в пробах β-гексахлорциклогексана, метаболитов группы дихлордифенилдихлорэтилена, а также полихлорированных бифенилов со средней и высокой степенью хлорирования свидетельствует об активных процессах деградации токсикантов в окружающей среде и о давнем присутствии данных веществ на территории Сахалинской области. Оценка риска для здоровья младенцев показала, что расчётное суточное потребление не превышало пороговых значений, что подтверждает безопасность грудного вскармливания. Сопоставление полученных результатов с данными мировых исследований позволяет сделать вывод о формировании глобального фоновое уровня стойких органических загрязнителей, прослеживающегося в различных регионах мира.

Заключение. Общее содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке свидетельствует о продолжающихся процессах деградации исходных соединений в окружающей среде и их давнем поступлении на территорию Сахалинской области. При оценке риска для здоровья младенцев превышения пороговых значений не выявлено, что говорит о безопасности грудного вскармливания. Вместе с тем полученные данные подчёркивают необходимость регулярного мониторинга содержания стойких органических загрязнителей.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители; хлорорганические пестициды; полихлорированные бифенилы; грудное молоко; оценка риска; Сахалинская область.

Как цитировать:

Миронова Е.К., Каракулова А.И., Донец М.М., Литвиненко А.В., Цыганков В.Ю. Стойкие органические токсиканты в грудном молоке женщин Сахалинской области и оценка риска для здоровья младенцев // Экология человека. 2025. Т. 32, № 8. С. 547–558. DOI: 10.17816/humeco643314 EDN: CLNHCH

Рукопись получена: 25.12.2024

Рукопись одобрена: 05.09.2025

Опубликована online: 08.09.2025

Persistent Organic Toxicants in Breast Milk of Women From the Sakhalin Region and Health Risk Assessment for Infants

Ekaterina K. Mironova¹, Anna I. Karakulova¹, Maksim M. Donets², Anna V. Litvinenko^{2,3}, Vasiliy Yu. Tsygankov²

¹ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

² Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia;

³ Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: According to the World Health Organization, the most reliable indicator of the adverse impact of persistent organic pollutants on human health is their concentration in breast milk. As humans occupy the top of the trophic chain, breast milk analysis provides insights into potential sources of environmental contamination and allows assessment of health risks for newborns.

AIM: The work aimed to determine the levels of organochlorine pesticides (hexachlorocyclohexane and dichlorodiphenyltrichloroethane) and polychlorinated biphenyls in breast milk of women from the Sakhalin Region, and to assess the health risks for infants consuming breast milk containing persistent organic pollutants.

METHODS: It was a series of cross-sectional studies (in 2022 and 2023). Samples of breast milk from women permanently residing in the Sakhalin Region were analyzed. Sampling was performed by professionals from several healthcare institutions with written informed consent obtained from participants. Concentrations of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in breast milk were determined using gas chromatography–mass spectrometry.

RESULTS: A total of 57 breast milk samples from women residing in the Sakhalin Region were analyzed: 26 samples in 2022 and 31 samples in 2023. Persistent organic pollutants were detected in all samples. Elevated concentrations of dichlorodiphenyltrichloroethane and hexachlorocyclohexane may be associated with periodic outbreaks of pests and subsequent forest treatment with pesticides. The detection of polychlorinated biphenyls indicates technogenic contamination of the environment, primarily from shipping activities and equipment containing these substances (transformers, capacitors, and other devices). The predominance of β -hexachlorocyclohexane, dichlorodiphenyldichloroethylene metabolites, and polychlorinated biphenyls with medium and high degrees of chlorination suggests active degradation of toxicants in the environment and their long-term presence in the Sakhalin Region. Health risk assessment in infants showed that estimated daily intake did not exceed threshold values, confirming the safety of breastfeeding. Comparison of obtained results with global research indicates the establishment of a worldwide background level of persistent organic pollutants, which can be traced across different regions of the world.

CONCLUSION: The total content of persistent organic pollutants in breast milk indicates ongoing degradation processes of parent compounds in the environment and their long-standing presence in the Sakhalin Region. Health risk assessment for infants revealed no exceedance of threshold values, confirming the safety of breastfeeding. At the same time, the findings highlight the need for regular monitoring of persistent organic pollutant concentrations.

Keywords: persistent organic pollutants; organochlorine pesticides; polychlorinated biphenyls; breast milk; risk assessment; Sakhalin Region.

To cite this article:

Mironova EK, Karakulova AI, Donets MM, Litvinenko AV, Tsygankov VYu. Persistent Organic Toxicants in Breast Milk of Women From the Sakhalin Region and Health Risk Assessment for Infants. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):547–558. DOI: 10.17816/humeco643314 EDN: CLHHCH

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643314>

EDN: CLHHCH

Sakhalin州妇女的母乳中持久性有机有毒污染物及 婴儿健康风险评估

Ekaterina K. Mironova¹, Anna I. Karakulova¹, Maksim M. Donets², Anna V. Litvinenko^{2,3},
Vasiliy Yu. Tsygankov²

¹ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

² Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia;

³ Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

摘要

论证: 根据世界卫生组织的建议,检测母乳中持久性有机污染物的含量是评估其对人体健康负面影响的最可靠指标。由于人类处于食物链顶端,母乳研究不仅能够揭示潜在的环境污染来源,还可用于评估新生儿的健康风险。

目的: 检测Sakhalin州妇女母乳中氯代农药(六氯环己烷、滴滴涕)及多氯联苯的含量,并评估婴儿摄入含持久性有机污染物母乳的健康风险。

方法: 开展了一系列横断面研究(于2022年和2023年)。分析了长期居住在Sakhalin州妇女的母乳样本。样本采集由多家医疗机构工作人员在受试者签署知情同意后完成。采用气相色谱-质谱联用法测定母乳中氯代农药和多氯联苯的浓度。

结果: 共分析母乳样本57份,其中2022年26份,2023年31份。在全部乳样中均检出持久性有机污染物。六氯环己烷和滴滴涕的高浓度可能与害虫周期性暴发及随后对森林区域的农药处理有关。在样本中检出的多氯联苯表明,这些人为污染物进入环境,主要来源于与航运活动相关的排放,以及含有此类物质的设备(如变压器、电容器及其他装置)的使用与运行。样本中 β -六氯环己烷、二氯二苯二氯乙烯代谢物及中高氯化度多氯联苯的优势存在,表明这些污染物在环境中仍处于活跃的降解过程,并显示这些物质早已进入Sakhalin州并长期残留。健康风险评估结果显示,婴儿的计算日摄入量未超过阈值,说明母乳喂养是安全的。将所得结果与全球相关研究数据进行比较,可以得出结论:正在形成一个全球性的持久性有机污染物背景水平,并且在世界不同地区均可观察到。

结论: 母乳中持久性有机污染物的总含量表明这些物质在环境中仍处于持续降解过程,并早已进入并长期存在于Sakhalin州地区。婴儿健康风险评估未发现阈值超标,说明母乳喂养仍然安全。然而,本研究结果强调了定期监测母乳中持久性有机污染物的重要性。

关键词: 持久性有机污染物; 氯代农药; 多氯联苯; 母乳; 风险评估; Sakhalin州。

引用本文:

Mironova EK, Karakulova AI, Donets MM, Litvinenko AV, Tsygankov VYu. Sakhalin州妇女的母乳中持久性有机有毒污染物及婴儿健康风险评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):547–558. DOI: 10.17816/humeco643314 EDN: CLHHCH

收到: 23.12.2024

接受: 05.09.2025

发布日期: 08.09.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Грудное молоко является оптимальным видом питания, обеспечивающим здоровый рост и развитие новорождённых. По данным Всемирной организации здравоохранения, грудное вскармливание считают наиболее эффективным способом снижения смертности детей в возрасте до 5 лет [1]. Младенцы находятся на этапе активного роста и развития, поэтому на их здоровье значительно влияет присутствие различных примесей в грудном молоке. В случае, если оно является единственным источником пищи, существует риск воздействия опасных токсикантов, включая стойкие органические загрязнители (СОЗ). Поскольку их использование было широко распространено на территории бывшего Союза Советских Социалистических Республик во второй половине XX века, многие из этих соединений до настоящего времени выявляют как в местах их прежнего применения и хранения, так и в удалённых (арктических) регионах вследствие трансграничного переноса [1]. Опасность СОЗ обусловлена их высокой устойчивостью в окружающей среде, способностью к биоаккумуляции, а также широким спектром токсического воздействия (канцерогенного, тератогенного, гормонального, неврологического, иммунологического и др.) [2]. Одним из наиболее достоверных индикаторов негативного воздействия СОЗ на здоровье человека, согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, является определение их содержания в грудном молоке женщин¹. Таким образом, учитывая, что человек находится на вершине трофической пирамиды, исследование грудного молока позволяет выявить потенциальные источники загрязнения в окружающей среде и оценить риски для здоровья новорождённых.

Цель

Определение хлорорганических пестицидов (ХОП) [гексахлорциклогексана (ГХЦГ) и дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ)] и полихлорированных бифенилов (ПХБ) в грудном молоке женщин Сахалинской области, а также оценка риска для здоровья младенцев при употреблении грудного молока, содержащего СОЗ.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведена серия одномоментных исследований (в 2022 и 2023 гг.).

Условия проведения исследования

В 2022 и 2023 гг. изучены образцы грудного молока женщин, проживающих на территории Сахалинской области. Работа является этапом регулярного мониторинга СОЗ в связи с планом выполнения Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией о СОЗ².

Пробы грудного молока собирали с помощью сотрудников нескольких учреждений здравоохранения при наличии письменного согласия у участниц исследования. Образцы замораживали при температуре -20°C и далее транспортировали в лабораторию. Хлорорганические соединения извлекали экстракцией *n*-гексаном с последующим разрушением жировых компонентов концентрированной серной кислотой [3].

Критерии соответствия

Критерии включения:

- женщины, постоянно проживающие на территории Сахалинской области;
- возраст — от 20 до 43 лет;
- отсутствие острых инфекционных и тяжёлых хронических заболеваний, влияющих на метаболизм токсических веществ;
- наличие письменного информированного согласия на участие в исследовании.

Критерии невключения:

- отсутствие грудного вскармливания в момент исследования;
- острые инфекционные и тяжёлые хронические заболевания, влияющие на метаболизм токсических веществ;
- приём лекарственных средств или пищевых добавок, способных изменить метаболизм или концентрацию токсинов в грудном молоке;
- непостоянное проживание на территории Сахалинской области.

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

В качестве основного показателя исследования рассматривали определение содержания ХОП (ГХЦГ и ДДТ) и ПХБ в грудном молоке женщин Сахалинской области.

Дополнительные показатели исследования

Оценка риска для здоровья младенцев при употреблении грудного молока, содержащего СОЗ.

¹ The FAO/WHO Codex Alimentarius Commission [Internet]. B: Report of the twenty-eighth session. Rome. 2005–2024. Режим доступа: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/> Дата обращения: 12.12.2024.

² Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 529 от 03 октября 2017 г. «Об утверждении Плана выполнения Российской Федерацией обязательств, предусмотренных Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/> Дата обращения: 12.12.2024.

Методы измерения целевых показателей

Химический анализ

Для приготовления стандартных растворов ХОП [α -, β -, γ -, δ -ГХЦГ, *o.p'*-ДДТ, *p.p'*-ДДТ, *o.p'*-дихлордифенилхлорэтан (ДДД), *p.p'*-ДДД, *o.p'*-дихлордифенилдихлорэтилен (ДДЕ), *p.p'*-ДДЕ] и ПХБ (28, 52, 101, 118, 153, 138, 180) использовали стандартные образцы [Dr. Ehrenstorfer, Германия; AccuStandard, Соединённые Штаты Америки (США) и Sigma Aldrich, США и Германия] с установленными метрологическими характеристиками — содержание основного вещества 99,5–99,9% с погрешностью определения 0,3%. Для хроматографии использовали рабочие стандартные растворы СОЗ в диапазоне концентрации 1–100 нг/мл, приготовленные путём разбавления растворов стандартов соответствующим объёмом очищенного *n*-гексана.

Инструментальный анализ

Массовое содержание СОЗ в грудном молоке определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии на газовом хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010Ultra® (Shimadzu, Япония). Более подробные параметры прибора представлены в нашей предыдущей работе [4].

Оценка риска для младенцев

Для оценки суточного потребления СОЗ младенцами мы рассчитывали суточное употребление токсиканта с пищей (Estimated Daily Intake, EDI) по концентрации ксенобиотиков в грудном молоке. Предполагается, что ребёнок массой тела 5 кг потребляет около 700 г грудного молока в день [5]. Средние суточные нормы потребления СОЗ младенцем из грудного молока оценивали по следующему уравнению:

$$EDI = \frac{C_{milk} \times F \times 700}{5}, \quad (1)$$

где *EDI* — предполагаемая суточная доза, нг/кг массы тела в день; *C_{milk}* — концентрация СОЗ в грудном молоке, нг/г липидов; *F* — процентное содержание жира (1% — 0,01). Потребление СОЗ младенцами сравнивали с условно переносимым суточным поступлением (Provisional Tolerable Daily Intake, PTDI), рекомендованным Объединённым экспертным комитетом Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций и Всемирной организацией здравоохранения по пищевым добавкам¹ [6].

Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом при Школе биомедицины Дальневосточного федерального университета (протокол заседания № 5 от 19.12.2017). Все участницы исследования до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую этическим комитетом в составе протокола.

Статистические процедуры

Запланированный размер выборки

Размер выборки предварительно не рассчитывали в связи со сложностью сбора материала.

Статистические методы

Статистический анализ проводили с помощью пакета IBM SPSS Statistics® 21 (IBM, США): использовали медианный критерий, критерий Манна–Уитни при доверительном интервале ($p \geq 0,95$). Данные представлены в виде Min–Max (Me), где Min и Max — минимальное и максимальное значение соответственно, а Me — медиана. Данные на рисунках представлены в виде процентных диаграмм и «ящиков с усами», которые отражают минимальные и максимальные значения, проценти и медиану.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристики выборки

Всего в исследование включено 57 женщин, постоянно проживающих на территории Сахалинской области. Возраст женщин варьировал от 20 до 43 лет. В 2022 году исследовано 26 образцов грудного молока, в 2023 году — 31.

Основные результаты исследования

ХОП обнаружены во всех пробах грудного молока женщин Сахалинской области за период 2022–2023 гг.

Содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке в 2022 году

Концентрации СОЗ (Σ ГХЦГ+ Σ ДДТ+ Σ ПХБ) в образцах грудного молока варьировали от 11 до 2553 нг/г липидов (Me 182). Содержание ХОП [Σ изомеров ГХЦГ (α , β , γ , δ), ДДТ и его метаболитов (*o.p'*-ДДТ, *p.p'*-ДДТ, *o.p'*-ДДД, *p.p'*-ДДД, *o.p'*-ДДЕ, *p.p'*-ДДЕ)] находилось в диапазоне 3–2524 нг/г липидов (Me 182). Концентрации конгенов ПХБ (28, 52, 101, 118, 153, 138, 180) составляли 2–58 нг/г липидов (Me 14). Концентрации Σ ГХЦГ и Σ ДДТ варьировали от 2 до 1071 (Me 10) и от 2 и 2470 нг/г липидов (Me 102) соответственно. Изомеры ГХЦГ обнаружены в 81% проб, при этом наиболее часто встречали β -ГХЦГ (73%). Концентрации отдельных изомеров составили:

- α -ГХЦГ — 3–22 нг/г липидов (Me 5);
- β -ГХЦГ — 2–36 нг/г липидов (Me 7);
- γ -ГХЦГ — 1–10 нг/г липидов (Me 3);
- δ -ГХЦГ — 1–1027 нг/г липидов (Me 3).

Из метаболитов ДДТ наиболее определяемыми были соединения группы ДДЕ: *o.p'*-ДДЕ (92%) и *p.p'*-ДДЕ (54%) — 2–76 (Me 31) и 2–2322 нг/г липидов (Me 891) соответственно. В пределах обнаружения оказались *o.p'*-ДДД (42%) — 24–66 нг/г липидов (Me 37), а также

в одной пробе *p.p'*-ДДТ — 26 нг/г липидов. Следует отметить, что ПХБ обнаружены во всех образцах грудного молока. Наиболее часто выявляли конгенер ПХБ 28, обнаруженный во всех пробах (100%) с концентрацией 2–58 нг/г липидов (Ме 10). Кроме того, определяли следующие конгенеры ПХБ:

- ПХБ 52 (19%) — 2–77 нг/г липидов (Ме 4);
- ПХБ 153 (15,4%) — 6–10 нг/г липидов (Ме 7);
- ПХБ 101 (11,5%) — 20–40 нг/г липидов (Ме 34).

В одном образце обнаружен ПХБ 138 — 5 нг/г липидов. Средняя жирность грудного молока у женщин Сахалинской области в 2022 году составила 3,7%.

Содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке 2023 году

Концентрации СОЗ (ΣГХЦГ+ΣДДТ+ΣПХБ) в образцах грудного молока женщин Сахалинской области варьировали от 12 до 190 нг/г липидов (Ме 34). Диапазоны концентраций ХОП [Σ изомеров ГХЦГ (α, β, γ, δ), ДДТ и его

метаболитов (*o.p'*-ДДТ, *p.p'*-ДДТ, *o.p'*-ДДД, *p.p'*-ДДД, *o.p'*-ДДЕ, *p.p'*-ДДЕ)] и конгенеры ПХБ (28, 52, 101, 118, 153, 138, 180) составили 5–121 (Ме 18) и 4–68 нг/г липидов (Ме 18) соответственно. Концентрации ΣГХЦГ и ΣДДТ варьировали от 1 до 28 (Ме 4) и от 3 до 119 нг/г липидов (Ме 11) соответственно. Изомеры ГХЦГ обнаружены во всех пробах грудного молока, при этом наиболее часто выявляли α-ГХЦГ (100%). Концентрации отдельных изомеров составили:

- α-ГХЦГ — 1–7 нг/г липидов (Ме 3);
- β-ГХЦГ — 2–15 нг/г липидов (Ме 5);
- γ-ГХЦГ — 4–10 нг/г липидов (Ме 7);
- δ-ГХЦГ обнаружен в одной пробе — 2,4 нг/г липидов.

Из метаболитов ДДТ наиболее определяемыми были соединения группы ДДЕ: *p.p'*-ДДЕ (100%) и *o.p'*-ДДЕ (45%) — 3–106 (Ме 10) и 2–14 нг/г липидов (Ме 4) соответственно. Также в пределах обнаружения оказались *o.p'*-ДДД (13%) и *p.p'*-ДДД (16%) — 0,5–0,7 (Ме 0,6)

Таблица 1. Расчётное суточное потребление токсикантов (EDI) младенцами Сахалинской области (2022–2023 гг.) на основе концентраций ксенобиотиков в материнском молоке

Table 1. Estimated daily intake (EDI) of toxicants by infants in the Sakhalin Region (2022–2023) based on xenobiotic concentrations in breast milk

Стойкие органические загрязнители	Расчётное суточное потребление токсикантов, нг/кг массы тела в день		PTDI ¹ (нг/кг массы тела в день)
	2022	2023	
α-Гексахлорциклогексан	35,6	15,0	5000
β-Гексахлорциклогексан	50,6	25,8	
γ-Гексахлорциклогексан	19,1	27,5	
δ-Гексахлорциклогексан	377,5	11,4	
ΣГексахлорциклогексан	482,7	79,8	
<i>o.p'</i> -Дихлордифенилдихлорэтилен	174,2	24,6	10 000
<i>p.p'</i> -Дихлордифенилдихлорэтилен	3964,2	52,6	
<i>o.p'</i> -Дихлордифенилдихлорэтилен	194,5	2,7	
<i>p.p'</i> -Дихлордифенилдихлорэтилен	—	24,8	
<i>o.p'</i> -Дихлордифенилдихлорэтилен	—	—	
<i>p.p'</i> -Дихлордифенилдихлорэтилен	98,7	34,6	1000
ΣДихлордифенилдихлорэтилен	4431,5	139,2	
Полихлорированный бифенил 28	67,9	7,7	
Полихлорированный бифенил 52	19,8	-	
Полихлорированный бифенил 101	202,0	10,1	
Полихлорированный бифенил 118	23,8	28,7	
Полихлорированный бифенил 138	26,0	26,3	
Полихлорированный бифенил 143	—	—	
Полихлорированный бифенил 153	34,1	33,6	
Полихлорированный бифенил 155	—	—	
Полихлорированный бифенил 180	—	34,5	
ΣПолихлорированные бифенилы	373,6	140,9	

Примечание. PTDI (Provisional Tolerable Daily Intake) — условно переносимое суточное поступление, рекомендованное Объединённым экспертным комитетом Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций и Всемирной организацией здравоохранения по пищевым добавкам.

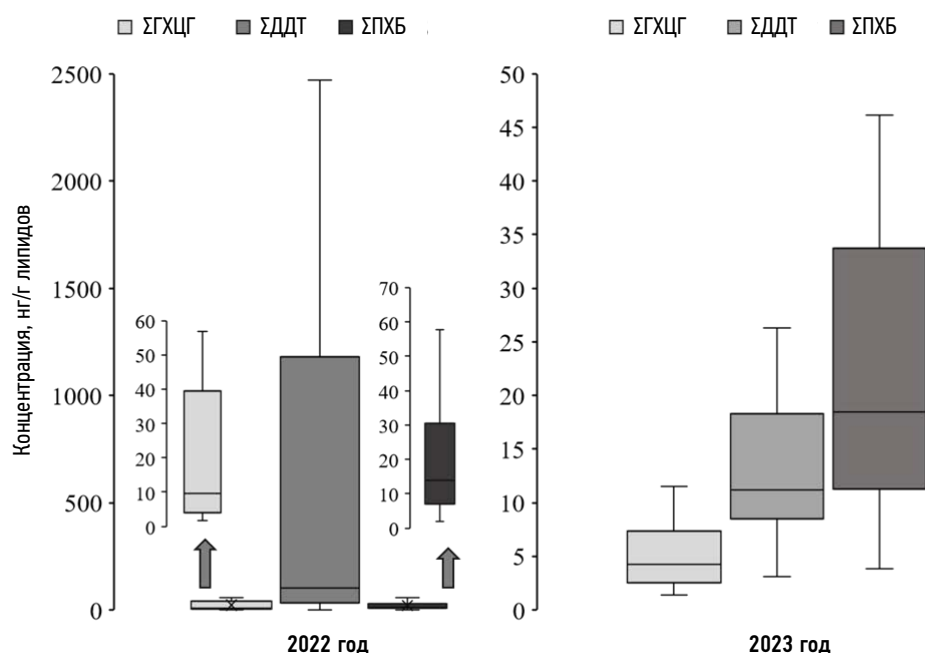


Рис. 1. Концентрации токсикантов в грудном молоке жительниц Сахалинской области в 2022 и 2023 гг. Данные представлены в виде минимальных и максимальных значений, процентилей и медианы. ГХЦГ — гексахлорциклогексан; ДДТ — дихлордифенилтрихлорметан; ПХБ — полихлорированный бифенил.

Fig. 1. Concentrations of toxicants in breast milk of women from the Sakhalin Region in 2022 and 2023. Data are presented as minimum and maximum values, percentiles, and the median. HCH, hexachlorocyclohexane; DDT, dichlorodiphenyltrichloroethane; PCB, polychlorinated biphenyl.

и 3–8 нг/г липидов (Ме 5) соответственно. ПХБ обнаружены во всех образцах грудного молока. Наиболее часто выявляли конгенер ПХБ 153, обнаруженный в 94% проб с концентрацией 2–30 нг/г липидов (Ме 6). Кроме того, определяли следующие конгенеры ПХБ:

- ПХБ 28 (87%) — 1–3 нг/г липидов (Ме 1);
- ПХБ 118 (90%) — 2–21 нг/г липидов (Ме 6);
- ПХБ 138 (81%) — 3–17 нг/г липидов (Ме 5);
- ПХБ 180 (55%) — 3–20 нг/г липидов (Ме 7).

Средняя жирность грудного молока у женщин Сахалинской области в 2023 году составила 3,4%.

Дополнительные результаты исследования

На основании содержания СОЗ в грудном молоке рассчитано суточное потребление (EDI) (табл. 1). Концентрации отдельных соединений ХОП и ПХБ, а также ΣГХЦГ и метаболитов ДДТ за исследуемый период не превышали расчётного суточного потребления.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

СОЗ обнаружены во всех пробах грудного молока женщин, постоянно проживающих на территории Сахалинской области. Наличие СОЗ в грудном молоке свидетельствует о продолжающихся процессах деградации исходных соединений в окружающей среде и их давнем поступлении на территорию Сахалинской области. При оценке риска для здоровья младенцев превышения

пороговых значений не выявлено, что говорит о безопасности грудного вскармливания.

Интерпретация результатов исследования

При сравнении концентраций поллютантов в образцах грудного молока, собранных в 2022 и 2023 гг. (рис. 1), статистически значимых различий не выявлено ($p \geq 0,05$).

Тем не менее концентрации всех исследуемых поллютантов (см. рис. 1) были существенно выше в 2022 году по сравнению с 2023 годом. Высокое содержание ДДТ и присутствие изомеров ГХЦГ в образцах грудного молока у женщин, проживающих на территории Сахалинской области, могут быть обусловлены с периодическими вспышками численности вредителей и последующей обработкой лесных массивов ядохимикатами [7]. Кроме того, эти вещества поступают на остров с материка посредством атмосферных переносов [8]. Наличие таких соединений отражает доминирующую роль химических веществ в защите растений, что в дальнейшем негативно влияет на сельскохозяйственные культуры и, следовательно, на здоровье человека. Согласно постановлению Правительства Сахалинской области № 410 от 27 августа 2010 г.³, на территории острова размещались полигоны для хранения пришедших в негодность или запрещённых

³ Постановление Правительства Сахалинской области № 410 от 27 августа 2010 г. «Об утверждении Положения комиссии по предотвращению бесконтрольного использования на территории Сахалинской области пестицидов и агрохимикатов». Режим доступа: <https://www.garant.ru/hotlaw/sahalin/275837/> Дата обращения: 12.12.2024.

пестицидов, и на момент вступления постановления в силу их хранение осуществляли с нарушениями, способными привести к серьёзному загрязнению окружающей среды. Присутствие в пробах концентраций ПХБ указывает на значительный вклад техногенных источников загрязнения, вероятно, связанный с влиянием судоходства и действующих трансформаторов, конденсаторов и прочих агрегатов, содержащих ПХБ [8].

Распределение поллютантов в грудном молоке жительниц Сахалинской области в течение двух лет представлено на рис. 2.

Известно, что путь деградации изомеров ГХЦГ протекает от наименее к более устойчивым формам ($\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \delta \rightarrow \beta$) [9]. Полученные результаты свидетельствуют о преобладании δ -ГХЦГ (более 70%) в пробах 2022 года и β -ГХЦГ (более 60%) — в 2023 года, что может быть связано с активной продолжающейся деградацией в окружающей среде и давним нахождением этих поллютантов на исследуемой территории. Среди метаболитов ДДТ в 2022 и 2023 гг. преобладали соединения класса ДДЕ, что указывает на распад исходного ДДТ, а также на давнее поступление в среду этого токсиканта. Среди ПХБ в пробах за весь исследуемый период преобладали средне- и высокохлорированные конгенеры (ПХБ 101, 118, 138, 153 и ПХБ 180 соответственно). Такие соединения имеют более высокую молекулярную массу, менее летучи, более устойчивы в окружающей среде и практически не выводятся из организма [10].

Мы сравнили полученные результаты с данными других исследований, проведённых в России и других стран.

Из табл. 2 видно, что концентрации Σ ГХЦГ в пробах 2022 года, полученных в Сахалинской области, находятся примерно на одном уровне с показателями, зафиксированными в таких странах, как Ливия и Саудовская Аравия [11, 12]. Концентрации Σ ГХЦГ в пробах грудного молока 2023 года сопоставимы с результатами, полученными в развитых странах, таких как Бельгия, Швеция и Новая Зеландия [13–15]. В то же время содержания Σ ГХЦГ в пробах обоих годов ниже, чем в таких развивающихся странах, как Китай, Иран и Вьетнам, где фиксируют значительно более высокие концентрации поллютантов [16–18]. При сравнении концентраций ГХЦГ по регионам России выявлено, что показатели Сахалинской области в 2023 году ниже, чем в Приморском крае, Чукотском автономном округе и Бурятии [19, 20], тогда как результаты 2022 года находятся на одном уровне с данными Приморского края.

Концентрации Σ ДДТ в грудном молоке женщин также демонстрируют региональные различия. В большинстве исследованных стран показатели значительно превышают минимальные концентрации, что свидетельствует о широком распространении этого загрязнителя. Особенно высокие концентрации Σ ДДТ наблюдают в таких странах, как Вьетнам, Иран, Китай, Польша и Мексика [16–18, 21, 22]. В Сахалинской области концентрации ДДТ в грудном молоке в 2022 году сопоставимы с таковыми в таких странах, как Бангладеш, Индия и Новая Зеландия [6, 13, 23], тогда как в 2023 году — с показателями, характерными для Ливана, Хорватии и Чехии [24–26]. Следует отметить, что концентрации Σ ДДТ в Забайкальском крае

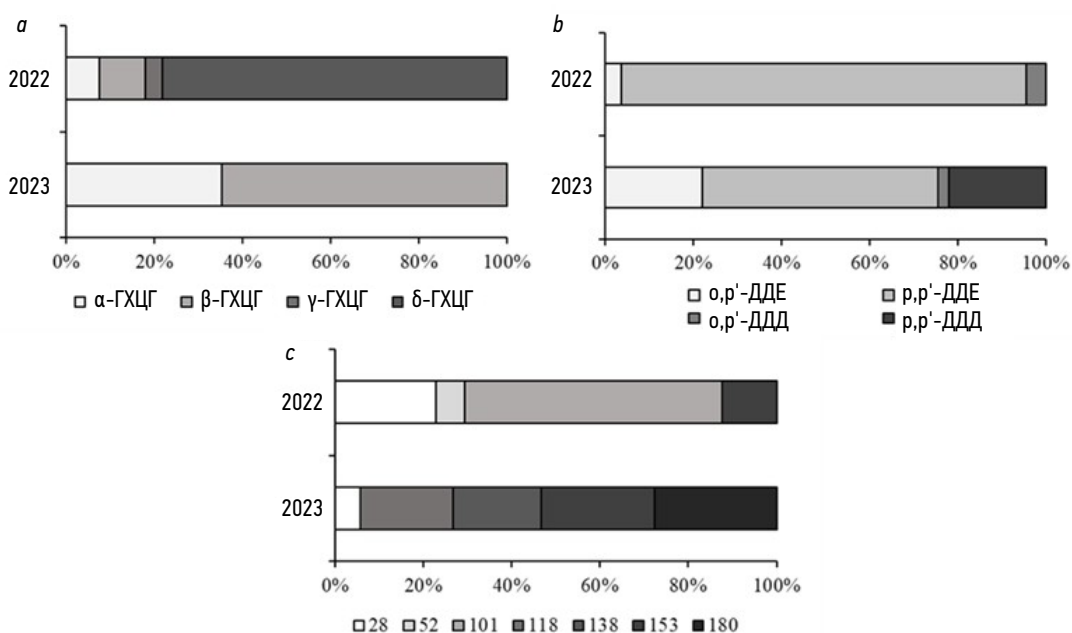


Рис. 2. Распределение стойких органических загрязнителей в грудном молоке женщин Сахалинской области в 2022 и 2023 гг.: а — изомеры гексахлорциклогексана; б — метаболиты дихлордифенилтрихлорэтан; с — конгенеры полихлорированных бифенилов. ГХЦГ — гексахлорциклогексан; ДДЕ — дихлордифенилдихлорэтан; ДДД — дихлордифенилдихлорэтан; ПХБ — полихлорированный бифенил.

Fig. 2. Distribution of persistent organic pollutants in breast milk of women from the Sakhalin Region in 2022 and 2023: a, isomers of hexachlorocyclohexane; b, metabolites of dichlorodiphenyltrichloroethane; c, congeners of polychlorinated biphenyls. HCH, hexachlorocyclohexane; DDE, dichlorodiphenyldichloroethylene; DDD, dichlorodiphenyldichloroethane; PCB, polychlorinated biphenyl.

Таблица 2. Содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке женщин России и других стран**Table 2.** Content of persistent organic pollutants in breast milk of women from Russia and other countries

Регион или страна	Год	Содержание, нг/г липидов				Ссылка
		ΣГХЦГ	ΣДДТ	ΣПХБ инд.	ΣПХБ	
Сахалинская область**	2022	10	102	14	—	Эта работа
Сахалинская область**	2023	4	16,7	18	—	Эта работа
Чукотский автономный округ	2019	20	11	24	58	[19]
Приморский край	2017–2018	76	13	20	78	[19]
Иркутск*	1997–2009	4,3	534	155	267	[27]
Забайкальский край*	1997–2009	2,5	1122	106	2125	[27]
Республика Бурятия*	2003–2004	810	660	—	240	[20]
Австралия**	2002–2003	33,36	359	—	—	[29]
Бангладеш**	2018	9,4 ²	551 ³	—	—	[23]
Иран**	2018	1567	1120	—	—	[16]
Китай**	2020	638	1105	9,63	—	[17]
Колумбия**	2016	3,93	—	—	—	[38]
Корея	2011	24±16	114±67	—	14,2±11,8	[30]
Ливия*	2007	70	220 ¹	—	—	[11]
Ливан*	2017	8,6±0,6	21	10,3	—	[24]
Мексика	2004–2014	11±19 ²	972±828	—	—	[21]
Польша	2020	20±6	1195±475	—	526±334 ⁹	[22]
Соединённые Штаты Америки	2004	18,9±19	65±75	—	—	[31]
Северная Танзания**	2012	1,11	205	4,19	—	[36]
Тунис**	2015	—	196,49 ³	61,7 ⁴	—	[32]
Турция*	2021	—	1,122±0,5310	8,154±2,1794	—	[37]
Япония*	2020	—	138,5 ³	—	—	[33]
Вьетнам*	2007–2008	140 ²	1200	—	84	[18]
Индия	2017	47±107	519±1017	—	33±68	[8]
Норвегия*	2002–2009	12,32	1671	—	541,6	[28]
Хорватия*	2011–2014	3,4	16,8	25	66	[25]
Чехия	2022	3,627	27,3386	25,98	—	[26]
Новая Зеландия*	2013	8,43±3,4 ²	379±42 ¹	—	—	[13]
Саудовская Аравия*	2021	70,2±30 ²	48	—	—	[12]
Швеция**	2021	8,1 ²	73 ³	—	—	[14]
Бельгия**	2012	6,1 ²	56,9 ³	44 ⁵	—	[15]
Тайвань*	2000–2001	3,4±2,2 ⁷	333±253 ¹	—	—	[34]
Пакистан	2015	26,7	83,8	—	—	[35]

Примечание. ¹ — *p,p'*-дихлордифенилдихлорэтилен и *p,p'*-дихлордифенилтрихлорметан; ² — только β-гексахлорциклогексан; ³ — только *p,p'*-дихлордифенилдихлорэтилен; ⁴ — полихлорированные бифенилы 138, 153, 180; ⁵ — полихлорированные бифенилы 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180; ⁶ — без *o,p'*-дихлордифенилдихлорэтилен; ⁷ — только β- и γ-гексахлорциклогексан; ⁸ — полихлорированные бифенилы 28, 101, 138, 153, 180; ⁹ — полихлорированные бифенилы 81, 77, 123, 118, 114, 105, 126, 167, 156, 157, 169, 189; * — среднее значение; ** — медиана; ГХЦГ — гексахлорциклогексан; ДДТ — дихлордифенилтрихлорметан; ПХБ — полихлорированный бифенил.

остаются одними из самых высоких не только по России, но и в мире в целом [27].

Наиболее высокие концентрации ПХБ среди проанализированных регионов, зарегистрированы в Польше и Норвегии [22, 28]. Концентрации ПХБ, выявленные

в настоящем исследовании, сопоставимы с данными, полученными в Чехии [26]. Среди регионов России выявленные показатели сопоставимы с Приморским краем и Чукотским автономным округом [19]. Следует отметить, что в некоторых странах зафиксированы умеренные

и низкие содержания отдельных СОЗ (см. табл. 2) [29–38]. Обнаруженные на территориях разных стран концентрации поллютантов указывают на их сформировавшийся глобальный фоновый уровень.

Несмотря на отсутствие риска от употребления грудного молока существуют данные, свидетельствующие о негативном влиянии ПХБ на развитие патологий, снижение иммунитета, замедление роста и набора массы тела ребёнка [10]. Особенно это актуально в ситуациях, когда грудное молоко является единственным источником пищи для новорождённых. Учитывая, что организм младенцев находится в стадии интенсивного роста и формирования, присутствие различных примесей в молоке может спровоцировать отклонения от нормального развития, что подчёркивает необходимость постоянного мониторинга содержания поллютантов в биологических жидкостях человека.

Ограничения исследования

При планировании и проведении исследования размер выборки для достижения требуемой статистической мощности результатов не рассчитывали. В связи с этим полученную выборку участников невозможно считать в достаточной степени репрезентативной, что не позволяет экстраполировать полученные результаты и их интерпретацию на генеральную совокупность аналогичных женщин за пределами исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, во всех образцах грудного молока обнаружены СОЗ. Их содержание в грудном молоке в 2022 и 2023 гг. указывает на продолжающиеся процессы деградации в окружающей среде исходных соединений, а также наличие давнего поступления этих поллютантов на территорию Сахалинской области.

При сравнении полученных концентраций СОЗ с результатами других стран выявлена неоднородность уровней загрязнения в зависимости от года и региона исследования. Полученные концентрации сопоставимы с результатами подобных исследований в России и в мире. Такие данные свидетельствуют о воздействии СОЗ на окружающую среду и, следовательно, возможном негативном влиянии на экосистемы и здоровье населения в целом.

При оценке риска для здоровья младенцев выявлено, что EDI не превышало пороговых значений, что говорит о безопасности грудного вскармливания. Результаты исследования подтверждают необходимость регулярной оценки СОЗ в биологических жидкостях с целью своевременного выявления потенциальных рисков для здоровья.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.К. Миронова — сбор биологического материала, анализ литературных данных, написание и редактирование текста

рукописи; А.И. Каракулова — подготовка проб для определения, анализ литературных данных, построение таблиц и рисунков; М.М. Донец — инструментальное исследование образцов, редактирование текста рукописи; А.В. Литвиненко — сбор биологического материала, редактирование текста рукописи; В.Ю. Цыганков — общее руководство работой, редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Благодарности. Авторы выражают свою признательность Областному государственному бюджетному учреждению здравоохранения «Магаданский родильный дом» и Государственному бюджетному учреждению здравоохранения Сахалинской области «Южно-Сахалинская детская городская поликлиника» за предоставление возможности взятия проб грудного молока. Также авторы благодарят сотрудников учреждений здравоохранения В.В. Неверову, В.В. Купину и Т.К. Фигурину за помощь в сборе биологического материала.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом при Школе биомедицины Дальневосточного федерального университета (протокол заседания № 5 от 19.12.2017). Все участники исследования до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

Источники финансирования. Исследование проведено с использованием денежных средств гранта Российского научного фонда (грант РНФ № 23-74-10032).

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы применены данные содержания стойких органических загрязнителей в грудном молоке женщин юга и севера Дальнего Востока, использованные при создании ранее опубликованной работы (DOI:10.47470/0869-7922-2023-31-2-99-108), распространяется на условиях лицензии CC-BY 4.0).

Доступ к данным. Редакционная политика журнала по вопросам доступа к данным к настоящей работе неприменима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей рукописи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.K. Mironova: resources, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; A.I. Karakulova: investigation, formal analysis, visualization; M.M. Donets: investigation, writing—review & editing; A.V. Litvinenko: resources, writing—review & editing; V.Yu. Tsygankov: supervision, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the Magadan Regional Maternity Hospital and the Yuzhno-Sakhalinsk City Children's Polyclinic of the Sakhalin Region for providing the opportunity to collect breast milk samples. The authors also thank the healthcare professionals V.V. Neverova, V.V. Kupina, and T.K. Figurina for their assistance in collecting biological material.

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the School of Biomedicine, Far Eastern Federal University (Protocol No. 5 dated December 19, 2017). All participants provided written informed consent, approved by the Ethics Committee as part of the study protocol, prior to inclusion in the study.

Funding sources: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Grant No. 23-74-10032).

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: This article is based on the authors' own data on the content of persistent organic pollutants in breast milk of women from the south and north of the Far East, which were also used in a previously

published study ([DOI: 10.47470/0869-7922-2023-31-2-99-108], distributed under the terms of the CC BY 4.0 license).

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Dudarev AA, Odland JO. Human Health in Connection With Arctic Pollution - Results and Perspectives of International Studies Under the Aegis of Amap. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(9):3–14. doi: 10.33396/1728-0869-2017-9-3-14 EDN: ZFVNJL
2. Carpenter DO. *Effects of Persistent and Bioactive Organic Pollutants on Human Health*. New Jersey: John Wiley & Sons; 2013. ISBN: 978-111-867-965-4 doi: 10.1002/9781118679654
3. Tsygankov VY, Boyarova MD, Kiku PF, Yarygina MV. Hexachlorocyclohexane (HCH) in Human Blood in the South of the Russian Far East. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015;22(18):14379–14382. doi: 10.1007/s11356-015-4951-3 EDN: UZYOXD
4. Tsygankov V, Donets MM, Gumovskaya YuP, et al. Methods to Determine Persistent Organic Pollutants in Various Components of Ecosystems in the Far Eastern Region. In: *Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific*. Cham: Springer; 2023. P. 49–56. doi: 10.1007/978-3-031-44896-6_2 EDN: XWKCJQ
5. Van Oostdam J, Donaldson SG, Feeley M, et al.. Human Health Implications of Environmental Contaminants in Arctic Canada: A Review. *Sci Total Environ*. 2005;351-353:165–246. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.03.034
6. Bawa P, Bedi JS, Gill JPS, et al. Persistent Organic Pollutants Residues in Human Breast Milk from Bathinda and Ludhiana Districts of Punjab, India. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2018;75(4):512–520. doi: 10.1007/s00244-018-0512-3 EDN: VRSIJB
7. Kuznetsov VN. On the Problem of Gypsy Moth (*Lymantria dispar* L.) and Siberian (*Dendrolimus superans* Bult) Silkworms in Primorsky Krai. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 1997;(3):24–31. (In Russ.).
8. Khristoforova NK, Latkovskaya EM. Chloroorganic Compounds in the bays of northeastern Sakhalin. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 1998;(2):34–44. (In Russ.). EDN: TRHDON
9. Wu L, Liu Y, Liu X, et al. Isotope Fractionation Approach to Characterize the Reactive Transport Processes Governing the fate of Hexachlorocyclohexanes at a Contaminated Site in India. *Environment International*. 2019;132:105036. doi: 10.1016/j.envint.2019.105036
10. Raffetti E, Donato F, De Palma G, et al. Polychlorinated biphenyls (PCBs) and risk of hypertension: A population-based cohort study in a North Italian highly polluted area. *Science of The Total Environment*. 2020;714:136660. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.136660 EDN: WAMRID
11. Zeinab HM, Refaat G, El-Dressi AY. Organochlorine Pesticide Residues in Human Breast Milk in El-Gabal Al-Akhdar, Libya. In: *Proceedings of the International Conference on Life Science and Technology IPCBEE*. Singapore: IACSIT Press; 2011.
12. EL-Saeid MH, Hassanin AS, Bazeyad AY. Levels of Pesticide Residues in Breast Milk and the Associated Risk Assessment. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(7):3741–3744. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.04.062 EDN: GKTICU
13. Mannelte A, Coakley J, Bridgen P, et al. Current Concentrations, Temporal Trends and Determinants of Persistent Organic Pollutants in Breast Milk of New Zealand Women. *Science of The Total Environment*. 2013;458-460:399–407. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.04.055
14. Gyllenhammar I, Aune M, Fridén U, et al. Are Temporal Trends of Some Persistent Organochlorine and Organobromine Compounds in Swedish Breast Milk Slowing Down? *Environmental Research*. 2021;197:111117. doi: 10.1016/j.envres.2021.111117 EDN: FEWFFG
15. Croes K, Colles A, Koppen G, et al. Persistent Organic Pollutants (POPs) in Human Milk: A Biomonitoring Study in Rural Areas of Flanders (Belgium). *Chemosphere*. 2012;89(8):988–994. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.06.058
16. Shahmoradi B, Maleki A, Kohzadi S, et al. Levels of Organochlorine Pesticides in Human Breast Milk in Marivan, West of Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*. 2019;7(1):32–37. doi: 10.22102/JAEHR.2019.155318.110
17. Hu L, Luo D, Wang L, et al. Levels and Profiles of Persistent Organic Pollutants in Breast Milk in China and Their Potential Health Risks to Breastfed Infants: A Review. *Science of The Total Environment*. 2021;753:142028. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142028 EDN: BHKPKV
18. Haraguchi K, Koizumi A, Inoue K, et al. Levels and Regional Trends of Persistent Organochlorines and Polybrominated Diphenyl Ethers in Asian Breast Milk Demonstrate POPs Signatures Unique to Individual Countries. *Environment International*. 2009;35(7):1072–1079. doi: 10.1016/j.envint.2009.06.003 EDN: MMTEJD
19. Mironova EK, Donets MM, Gumovskiy AN, et al. Organochlorine Pollutants in Human Breast Milk from North of the Far Eastern Region of Russia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2023;110(5):95. doi: 10.1007/s00128-023-03732-6 EDN: OMSPUD
20. Tsydenova OV, Sudaryanto A, Kajiwarra N, et al. Organohalogen Compounds in Human Breast Milk from Republic of Buryatia, Russia. *Environmental Pollution*. 2007;146(1):225–232. doi: 10.1016/j.envpol.2006.04.036 EDN: LKONVF
21. Chávez-Almazán LA, Díaz-Ortiz J, Alarcón-Romero M, et al. Organochlorine Pesticide Levels in Breast Milk in Guerrero, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2014;93(3):294–298. doi: 10.1007/s00128-014-1308-4
22. Grešner P, Zieliński M, Ligocka D, et al. Environmental exposure to persistent organic pollutants measured in breast milk of lactating women from an urban area in central Poland. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;28(4):4549–4557. doi: 10.1007/s11356-020-10767-3 EDN: DVUENH
23. Bergkvist C, Aune M, Nilsson I, et al. Occurrence and Levels of Organochlorine Compounds in human breast milk in Bangladesh. *Chemosphere*. 2012;88(7):784–790. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.083 EDN: PHSSTR
24. Helou K, Harmouche-Karaki M, Karake S, Narbonne JF. A Review of Organochlorine Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Lebanon: Environmental and Human Contaminants. *Chemosphere*. 2019;231:357–368. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.109
25. Jovanović G, Romanić SH, Stojić A, et al. Introducing of Modeling Techniques in the Research of POPs in Breast Milk-A Pilot Study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019;172:341–347.
26. Parizek O, Gramblicka T, Parizkova D, et al. Assessment of Organohalogenated Pollutants in Breast Milk from the Czech Republic. *Science of The Total Environment*. 2023;871:161938. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.161938 EDN: YTZARY

27. Mamontova EA, Tarasova EN, Mamontov AA. PCBs and OCPs in Human Milk in Eastern Siberia, Russia: Levels, Temporal Trends and Infant Exposure Assessment. *Chemosphere*. 2017;178:239–248. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.03.058 EDN: YVKRNT
28. Lenters V, Iszatt N, Forns J, et al. Early-life Exposure to Persistent Organic Pollutants (OCPs, PBDEs, PCBs, PFASs) and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Multi-Pollutant Analysis of a Norwegian Birth Cohort. *Environment International*. 2019;125:33–42. doi: 10.1016/j.envint.2019.01.020
29. Mueller JF, Harden F, Toms LM, et al. Persistent Organochlorine Pesticides in Human Milk Samples from Australia. *Chemosphere*. 2008;70(4):712–720. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.06.037 EDN: MGCUTZ
30. Lee S, Kim S, Lee HK, et al. Contamination of Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Breast Milk in Korea: Time-course Variation, Influencing Factors, and Exposure Assessment. *Chemosphere*. 2013;93(8):1578–1585. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.08.011 EDN: SOJOMR
31. Johnson-Restrepo B, Addink R, Wong C, et al. Polybrominated Diphenyl Ethers and Organochlorine Pesticides in Human Breast Milk From Massachusetts, USA. *Journal of Environmental Monitoring*. 2007;9(11):1205. doi: 10.1039/b711409p EDN: MMTECZ
32. Ennaceur S, Gandoura N, Driss MR. Organochlorine Pesticide Residues in Human Milk of Mothers Living in Northern Tunisia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2007;78(5):325–329. doi: 10.1007/s00128-007-9185-8 EDN: DTAQOP
33. Plouffe L, Bosson-Rieutort D, Madaniyazi L, et al. Estimated Postnatal p,p'-DDT and p,p'-DDE Levels and Body Mass Index at 42 Months of Age in a Longitudinal Study of Japanese Children. *Environmental Health*. 2020;19(1):. doi: 10.1186/s12940-020-00603-z EDN: GZYKJR
34. Chao HR, Wang SL, Lin TC, Chung XH. Levels of Organochlorine Pesticides in Human Milk from Central Taiwan. *Chemosphere*. 2006;62(11):1774–1785. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.07.036 EDN: MGCUYF
35. Yasmeen H, Qadir A, Mumtaz M, et al. Risk Profile and Health Vulnerability of Female Workers who Pick Cotton by Organochlorine Pesticides from Southern Punjab, Pakistan. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2016;36(5):1193–1201. doi: 10.1002/etc.3633 EDN: YYLMGR
36. Müller MHB, Polder A, Brynildsrud OB, et al. Organochlorine Pesticides (OCPs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Human Breast Milk and Associated Health Risks to Nursing Infants in Northern Tanzania. *Environmental Research*. 2017;154:425–434. doi: 10.1016/j.envres.2017.01.031 EDN: YYGQRR
37. Cok I, Yelken Ç, Durmaz E, et al. Polychlorinated Biphenyl and Organochlorine Pesticide Levels in Human Breast Milk from the Mediterranean City Antalya, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2011;86(4):423–427. doi: 10.1007/s00128-011-0221-3 EDN: HKWEWI
38. Rojas-Squella X, Santos L, Baumann W, et al. Presence of Organochlorine Pesticides in Breast Milk Samples from Colombian Women. *Chemosphere*. 2013;91(6):733–739. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.02.026 EDN: RIQWSN

ОБ АВТОРАХ

* Миронова Екатерина Константиновна;

адрес: Россия, 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10;
ORCID: 0000-0002-3746-1084;
eLibrary SPIN: 2358-3800;
e-mail: mironova_kate@bk.ru

Каракулова Анна Ильинична;

ORCID: 0009-0001-7566-6056;
e-mail: annya0704030@gmail.com

Донец Максим Михайлович;

ORCID: 0000-0002-2108-4448;
eLibrary SPIN: 9023-6473;
e-mail: maksim.donecz@mail.ru

Литвиненко Анна Владимировна, канд. биол. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-3423-3860;
eLibrary SPIN: 6061-5847;
e-mail: litvinenko.av@bk.ru

Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, доцент;

ORCID: 0000-0002-5095-7260;
eLibrary SPIN: 5047-8410;
e-mail: tsig_90@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Ekaterina K. Mironova;

address: 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Russia, 690922;
ORCID: 0000-0002-3746-1084;
eLibrary SPIN: 2358-3800;
e-mail: mironova_kate@bk.ru

Anna I. Karakulova;

ORCID: 0009-0001-7566-6056;
e-mail: annya0704030@gmail.com

Maksim M. Donets;

ORCID: 0000-0002-2108-4448;
eLibrary SPIN: 9023-6473;
e-mail: maksim.donecz@mail.ru

Anna V. Litvinenko, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;

ORCID: 0000-0002-3423-3860;
eLibrary SPIN: 6061-5847;
e-mail: litvinenko.av@bk.ru

Vasiliy Yu. Tsygankov, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor;

ORCID: 0000-0002-5095-7260;
eLibrary SPIN: 5047-8410;
e-mail: tsig_90@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco685713>

EDN: FGOEYA

Гигиеническая оценка бутилированной воды для детского питания как источника эссенциальных минеральных элементов

В.В. Шилов^{1,2}, О.Л. Маркова¹, Д.С. Исаев¹, М.Н. Кирьянова¹, А.А. Ковшов^{1,2}¹ Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья, Санкт-Петербург, Россия;² Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Для поддержания и укрепления здоровья с ранних лет необходимо обеспечить поступление в организм человека биологически активных веществ, таких как витамины и минералы. Питьевая вода является важным источником минеральных веществ, особенно в условиях их дефицита в рационе питания. Одним из предложенных способов его восполнения является использование упакованной питьевой воды. Для оценки её вклада в обеспечение детского организма микроэлементами необходимо провести расчёт поступления каждого из них с упакованной питьевой водой.

Цель исследования. Проведение гигиенической оценки упакованной питьевой воды для детского питания по показателям химической безопасности и расчёт её вклада в обеспечение организма человека эссенциальными и условно-эссенциальными элементами.

Методы. Проведено одномоментное санитарно-гигиеническое исследование упакованной питьевой воды. В качестве объектов исследования выбраны образцы упакованной воды семи наиболее популярных торговых марок отечественных производителей, пять из которых предназначены для детей с первых дней жизни до трёх лет и две — для детей старше трёх лет. Исследования бутилированной воды проводили на базе испытательного лабораторного центра ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», в каждой пробе определяли pH и концентрации 17 химических показателей. Выполнены расчёты суточного поступления макро- и микроэлементов с питьевой водой. Оценивали результаты на соответствие техническому регламенту Евразийского экономического союза «О безопасности упакованной питьевой воды, включая минеральную воду» (ТР ЕАЭС 044/2017) и методическим рекомендациям по нормам физиологических потребностей.

Результаты. В результате проведённых исследований установлено, что содержания минеральных элементов во всех образцах не превышают нормативных значений, установленных ТР ЕАЭС 044/2017. Результаты расчёта свидетельствуют о преимущественно низком уровне обеспечения физиологической потребности исследованными минеральными веществами. Для отдельных показателей, таких как фториды, селен, йод, кальций и магний, получены значения, которые стоит принимать во внимание при оценке поступления минеральных веществ.

Заключение. Таким образом, полученные данные обосновывают целесообразность учёта упакованной питьевой воды при оценке обеспеченности организма отдельными эссенциальными и условно-эссенциальными элементами.

Ключевые слова: упакованная питьевая вода; бутилированная вода; детское питание; химическая безопасность; минеральные вещества; эссенциальные элементы; суточное поступление.

Как цитировать:

Шилов В.В., Маркова О.Л., Исаев Д.С., Кирьянова М.Н., Ковшов А.А. Гигиеническая оценка бутилированной воды для детского питания как источника эссенциальных минеральных элементов // Экология человека. 2025. Т. 32, № 8. С. 559–569. DOI: 10.17816/humeco685713 EDN: FGOEYA

Hygienic Assessment of Bottled Water for Infant Nutrition as a Source of Essential Mineral Elements

Viktor V. Shilov^{1,2}, Olga L. Markova¹, Daniil S. Isaev¹, Marina N. Kir'yanova¹, Aleksandr A. Kovshov^{1,2}

¹ Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia;

² North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: To maintain and promote health from an early age, it is necessary to ensure an adequate intake of biologically active substances such as vitamins and minerals. Drinking water is an important source of minerals, especially under conditions of dietary deficiency. One proposed way of compensating for this deficiency is the use of packaged drinking water. To assess its contribution to the supply of trace elements in children, the intake of each element with packaged drinking water should be calculated.

AIM: The work aimed to perform a hygienic assessment of packaged drinking water for infant nutrition in terms of chemical safety indicators and to calculate its contribution to the supply of essential and conditionally essential elements to the human body.

METHODS: It was a cross-sectional sanitary-hygienic study of packaged drinking water. The study objects included samples of packaged water from seven of the most popular Russian brands, five of which were intended for children from birth to three years of age and two for children over three years. The analysis of bottled water was conducted at the Testing Laboratory Center of the North-West Public Health Research Center, where pH and concentrations of 17 chemical indicators were determined in each sample. Calculations were performed for daily intake of macro- and microelements with drinking water. The results were evaluated for compliance with the Technical Regulations of the Eurasian Economic Union, On the Safety of Packaged Drinking Water, Including Natural Mineral Water (TR EAEU 044/2017), and with methodological guidelines on physiological requirements.

RESULTS: The study established that the content of mineral elements in all samples did not exceed the normative values set by TR EAEU 044/2017. The calculated results indicated a predominantly low level of contribution to meeting physiological requirements for the analyzed mineral substances. For certain parameters, such as fluorides, selenium, iodine, calcium, and magnesium, the values obtained should be taken into account when assessing mineral intake.

CONCLUSION: Thus, the data obtained substantiate the rationale of taking packaged drinking water into account when assessing the supply of the body with certain essential and conditionally essential elements.

Keywords: packaged drinking water; bottled water; infant nutrition; chemical safety; mineral substances; essential elements; daily intake.

To cite this article:

Shilov VV, Markova OL, Isaev DS, Kir'yanova MN, Kovshov AA. Hygienic Assessment of Bottled Water for Infant Nutrition as a Source of Essential Mineral Elements. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):559–569. DOI: 10.17816/humeco685713 EDN: FGOEYA

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco685713>

EDN: FGOEYA

用于儿童营养的包装饮用水作为必需矿物元素来源的卫生学评价

Viktor V. Shilov^{1,2}, Olga L. Markova¹, Daniil S. Isaev¹, Marina N. Kir'yanova¹, Aleksandr A. Kovshov^{1,2}

¹ Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia;

² North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

摘要

论证: 自幼年起保证机体摄入生物活性物质, 如维生素和矿物质, 对于维护和促进健康至关重要。饮用水是矿物质的重要来源, 尤其在膳食摄入不足的情况下意义更大。补充矿物质的一种途径是使用包装饮用水。为评估其对儿童机体微量元素供给的贡献, 有必要计算各元素通过包装饮用水的摄入量。

目的: 依据化学安全性指标, 对用于儿童营养的包装饮用水进行卫生学评价, 并计算其在机体必需和条件必需元素供给中的贡献。

方法: 对包装饮用水进行了横断面卫生学研究。研究对象为七种俄罗斯最受欢迎的包装饮用水品牌, 其中五种适用于新生儿至三岁儿童, 两种适用于三岁以上儿童。对瓶装饮用水的研究在North-West Public Health Research Center的检测实验室进行, 在每个样品中测定pH值及17项化学指标的浓度。对饮用水中宏量与微量元素的日摄入量进行了计算。结果与欧亚经济联盟技术法规《包装饮用水(包括矿泉水)的安全性》(TR EAEU 044/2017)及生理需求标准指南进行比对。

结果: 研究结果表明, 所有样品中矿物质含量均未超过TR EAEU 044/2017的规范限值。计算结果显示, 经研究的矿物质对生理需求的满足水平以较低水平为主。对于氟化物、硒、碘、钙和镁等部分指标, 所得数值在评估矿物质摄入时应予以考虑。

结论: 研究结果证明, 在评估机体必需及条件必需元素的供给水平时, 将包装饮用水纳入考量是合理且必要的。

关键词: 包装饮用水; 瓶装水; 儿童营养; 化学安全性; 矿物质; 必需元素; 日摄入量计算。

引用本文:

Shilov VV, Markova OL, Isaev DS, Kir'yanova MN, Kovshov AA. 用于儿童营养的包装饮用水作为必需矿物元素来源的卫生学评价. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):559–569. DOI: 10.17816/humeco685713 EDN: FGOEYA

收到: 25.06.2025

接受: 29.08.2025

发布日期: 03.09.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»¹ первой национальной целью является: «...сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей, поддержка семьи». Питьевая вода — самый значимый по среднесуточной массе потребления продукт питания, качество и безопасность которого в значительной мере определяет здоровье человека [1, 2].

На формирование здоровья взрослого человека влияют условия его развития с раннего возраста. Именно поэтому ребёнок должен получать с питанием все биологически значимые минеральные элементы в соответствующем его возрасту количестве [2–8].

Несмотря на то что основным источником минеральных веществ в рационе являются пищевые продукты, питьевая вода также может вносить значимый вклад в структуру их общего поступления в организм человека [9–11]. По данным литературы, значимость питьевой воды как источника минеральных веществ становится особенно актуальной, когда в рационе питания наблюдают их дефицит [12, 13].

Для удовлетворения физиологических потребностей населения питьевая вода должна поступать в достаточном количестве, быть благоприятной, безопасной и безвредной². В методических документах Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека³ роль водного фактора учитывают только со стороны объёма выпитой воды в сутки, оставляя без внимания её минеральный состав [14]. Величину вклада питьевой воды в поступление минеральных веществ не оценивают вследствие недостатка необходимой информации.

В различных исследованиях авторы предлагают решить поставленную проблему при помощи упакованной (бутилированной) питьевой воды, которую население воспринимает как более «чистую», качественную и полноценную [15–17] в сравнении с питьевой водой централизованного водоснабжения [18]. Одним

из преимуществ упакованной питьевой воды является то, что потребитель самостоятельно может выбрать продукт, ориентируясь на сведения об её основном составе, представленные на маркировке, в отличие от питьевой воды централизованного водоснабжения, которая имеет сравнительно постоянный состав, характерный для региона [19].

В международных документах, в частности в «Руководстве по обеспечению качества питьевой воды» [20] и монографии «Питательные вещества в питьевой воде» Всемирной организации здравоохранения [21], приведены различные значения вклада питьевой воды в общее суточное потребление минеральных веществ: <5–20%. Кроме того, важным аспектом при употреблении питьевой воды, как отмечают эксперты международных организаций, является более высокая биодоступность водорастворимых форм эссенциальных элементов по сравнению с пищей, что может внести существенный вклад в суточный рацион питания детей [22, 23].

В отечественном техническом регулировании выделяют две категории упакованной питьевой воды:

- для детей от 0 до 3-х лет;
- для детей старше 3-х лет.

Применяют такую воду для непосредственного употребления, а также для разведения молочных смесей при кормлении детей раннего возраста⁴.

В соответствии с методическими рекомендациями³ одним из принципов здорового питания является соответствие химического состава ежедневного рациона физиологическим потребностям человека в макронутриентах (белки и аминокислоты, жиры и жирные кислоты, углеводы) и микронутриентах (витамины, минеральные вещества и микроэлементы, биологически активные вещества). Представленные в рекомендациях сведения позволяют оценить суточные пищевые рационы взрослого и детского населения, учитывая современные знания о физиологической роли эссенциальных микро- и макроэлементов.

Для оценки роли питьевой воды в обеспечении организма человека эссенциальными и условно-эссенциальными элементами необходимо рассчитать поступление каждого из них с водой.

Цель

Проведение гигиенической оценки упакованной питьевой воды для детского питания по показателям химической безопасности и расчёт её вклада в обеспечение организма человека эссенциальными и условно-эссенциальными элементами.

¹ Указ Президента Российской Федерации № 309 от 07 мая 2024 г. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405070015> Дата обращения: 08.12.2024.

² Федеральный закон № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изменениями и дополнениями). Режим доступа: <https://base.garant.ru/12115118/> Дата обращения: 08.12.2024.

³ Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/> Дата обращения: 08.12.2024.

⁴ Решение № 45 от 23 июня 2017 г. О техническом регламенте Евразийского экономического союза «О безопасности упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду». Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293743/4293743988.pdf> Дата обращения: 08.12.2024.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одномоментное санитарно-гигиеническое исследование упакованной питьевой воды.

Условия проведения исследования

Санитарно-гигиенические исследования упакованной питьевой воды проводили в испытательном лабораторном центре Федерального бюджетного учреждения науки «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» в 2024 году с использованием методов капиллярного электрофореза, спектрофотометрического метода и метода атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. Торговые марки выбирали на ранней стадии исследования, основываясь на их популярности в общероссийских рейтингах. Методом случайной выборки приобрели 86 образцов воды в пластиковых бутылках различного объема (0,33; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 л).

Критерии соответствия

Критерии включения

Бутилированная питьевая вода для детского питания популярных торговых марок в соответствии с общероссийскими рейтингами.

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

Показатели химической безопасности упакованной питьевой воды для детского питания с учётом её вклада в обеспечение организма человека эссенциальными и условно-эссенциальными элементами.

Методы измерения целевых показателей

Всего оценивали содержание 18 показателей химической безопасности, приведённых в техническом регламенте по упакованной питьевой воде, включая 15 эссенциальных макро- и микроэлементов, указанных в методических рекомендациях по нормам физиологических потребностей^{3,5}:

- показатели солевого и газового состава — йодид-ионы, кальций (Ca) и магний (Mg), нитрат-ионы, сульфат-ионы, фосфат-ионы (в форме растворённых ортофосфатов), фторид-ионы, хлорид-ион;

- металлы — железо (Fe), марганец (Mn), медь (Cu), молибден (Mo), натрий (Na), селен (Se), хром общий (Cr) и цинк (Zn);
- дополнительный показатель физиологической полноценности — калий (K);
- органолептический показатель — pH.

Оценку безвредности упакованной питьевой воды проводили в соответствии с требованиями к обработанной питьевой воде, питьевой воде для детского питания, искусственно минерализованной природной воде и купажированной питьевой воде, изготовленной с использованием природной питьевой воды, указанными в техническом регламенте Евразийского экономического союза (ТР ЕАЭС 044/2017)⁴.

Для оценки вклада в обеспечение потребности организма в минеральных веществах мы рассчитали суточное поступление эссенциальных и условно-эссенциальных элементов с упакованной питьевой водой с учётом норм физиологической потребности для двух групп детей: 1–2 года и 7–10 лет согласно методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253-21³.

Для расчёта поступления полученные концентрации умножали на количество потребляемой воды [для 1–2 лет — 0,6–0,7 л; для 7–10 лет — 1,2–1,3 л (мальчики) и 1,1–1,2 л (девочки)] и делили на значение нормы физиологической потребности для соответствующей группы.

Статистические процедуры

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью программных продуктов Microsoft Office Excel® 2010 [Microsoft, Соединённые Штаты Америки (США)] и IBM SPSS Statistics® v.22 (IBM Corp., США). Результаты представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристика объектов исследования

По результатам анализа рынка упакованной питьевой воды для детского питания из более чем 40 торговых марок, выпускаемых 27 отечественными производителями, в качестве объектов санитарно-гигиенического исследования выбраны семь наиболее популярных торговых марок. В маркировке пяти из которых указано предназначение для детей от 0 до 3-х лет (№ 1–5) и двух — для детей старше 3-х лет (№ 6–7). Товарным маркам присвоены условные номера.

Основные результаты исследования

Всего получено 1330 результатов исследования образцов упакованной питьевой воды для детского питания.

Результаты лабораторных исследований содержания эссенциальных и условно-эссенциальных элементов упакованной воды для детей представлены в табл. 1.

⁵ Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625907/ 11.12.2024. Бюл. № 12. Маркова О.Л., Бузинов Р.В., Зарицкая Е.В., и др. Результаты лабораторных исследований содержания минеральных микронутриентов в пробах упакованной воды для детского питания. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_76384471_73122994.PDF Дата обращения: 08.12.2024.

Таблица 1. Содержание минеральных веществ в упакованной питьевой воде для детского питания**Table 1.** Mineral content of packaged drinking water for infant nutrition

Показатель	Торговая марка воды						
	№ 1, n=8(13)	№ 2, n=11(13)	№ 3, n=9	№ 4, n=13	№ 5, n=13	№ 6, n=8(9)	№ 7, n=9
Кальций, мг/л	31,1 [26,1; 36,7] ¹	37,0 [31,9; 38,6] ¹	49,8 [43,8; 50,9]	38,3 [37,7; 47,6]	42,4 [38,5; 43,8]	77,6 [62,7; 85,1]	30,5 [26,0; 32,]
Магний, мг/л	9,6 [8,1; 11,0]	14,4 [12,5; 15,8]	11,1 [10,5; 11,4]	16,2 [15,6; 20,7]	11,9 [10,9; 12,5]	20,4 [19,9; 20,8]	9,7 [7,9; 10,2]
Натрий, мг/л	5,7 [4,9; 6,4]	11,0 [10,4; 11,7]	4,4 [4,1; 4,5]	3,4 [3,3; 4,1]	5,2 [4,7; 5,6]	7,3 [7,2; 7,4]	5,1 [4,6; 5,9]
Калий, мг/л	<0,5	10,1 [8,7; 10,9]	1,1 [0,3; 1,1]	2,9 [2,7; 3,4]	2,8 [2,6; 3,1]	2,0 [1,9; 2,0]	<0,5
Цинк, мг/л	0,0005 [0,0005; 0,0005] ¹						
Медь, мг/л	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Железо, мг/л	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,062 [0,043; 0,068]	<0,04
Марганец, мг/л	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Хром, мг/л	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Молибден, мг/л	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Хлориды, мг/л	25,7 [24,8; 25,8]	81,8 [79,6; 84,5]	7,8 [7,2; 7,8]	0,63 [0,59; 0,77]	9,4 [9,2; 10,2]	12,2 [11,8; 12,3]	25,7 [24,5; 27,4]
Сульфаты, мг/л	13,4 [12,8; 13,5]	64,1 [62,7; 65,7]	29,2 [26,1; 29,7]	8,0 [7,4; 8,6]	21,1 [20,7; 22,2]	44,3 [44,0; 45,0]	13,2 [13,1; 14,5]
Нитраты, мг/л	0,29 [0,27; 0,34]	2,5 [2,4; 2,5]	2,2 [2,0; 2,2]	0,6 [0,6; 0,7]	0,7 [0,6; 0,7]	3,3 [3,2; 3,4]	0,3 [0,3; 0,4]
Фториды, мг/л	<0,1	<0,1	0,2 [0,2; 0,2]	0,3 [0,3; 0,4]	0,14 [0,13; 0,14]	0,28 [0,27; 0,29]	<0,1
Фосфаты, мг/л	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Йодиды, мг/л	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,032 [0,024; 0,032]	0,02 [0,01; 0,02]	<0,02
Селен, мг/л	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0024 [0,0024; 0,0028]	<0,002
pH	7,1 [7,09; 7,10]	7,05 [7,02; 7,07]	7,57 [7,57; 7,59]	8,03 [8,02; 8,05]	7,47 [7,45; 7,48]	7,78 [7,78; 7,80]	7,91 [7,80; 8,00]

Примечание. Результаты представлены в виде Ме [Q1; Q3], где Ме — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно. ¹ — соответствует 1/2 нижнего предела количественного определения; в круглых скобках указано количество образцов для цинка, меди, железа и марганца.

Согласно полученным результатам, pH во всех исследованных образцах находится в диапазоне 7,10–8,03 и не выходят за рамки нормативных значений (pH 6–9). Содержание кальция и магния во всех исследованных образцах воды не превышает требований ТР ЕАЭС 044/2017⁴. В пробах воды для детей до трёх лет концентрации кальция варьируют от 31,1 до 49,8 мг/л (норматив — 60 мг/л), магния — от 9,6 до 16,2 мг/л (норматив — 30 мг/л).

Во всех образцах воды, на маркировке которых указано предназначение для детей старше трёх лет, концентрации кальция и магния находятся в пределах нормируемого диапазона, максимальное содержание обнаружено в пробах воды торговой марки № 6 — в 1,5–2 раза выше, чем в других образцах.

Концентрации катионов — железа (кроме торговой марки № 6), меди, марганца, молибдена, хрома, селена (кроме торговой марки № 6) — меньше нижнего предела количественного определения (НПКО). В свою очередь, концентрации цинка соответствовали НПКО (0,0005 мг/л). Полученные концентрации меди, цинка и железа практически совпадают

с физико-химическим составом дистиллированной воды. Исключением является детская вода торговой марки № 6 с содержанием железа 0,062 мг/л [0,043; 0,068], селена — 0,0024 мг/л [0,0024; 0,0028].

В образцах воды определяли концентрации анионов: нитратов, сульфатов, фосфатов, фторидов, хлоридов и йодидов. По показателям химической безопасности содержание нитратов, сульфатов и хлоридов преимущественно не достигает 1/2 значения установленного норматива, содержание фторидов — <0,1 до 0,28 мг/л (норматив — 1,2 мг/л), концентрации фосфатов фиксируют меньше НПКО — <0,25 мг/л. Исключение составляют образцы воды торговой марки № 6, в которой содержание нитратов составляет 3,3 мг/л (норматив — 5 мг/л). Концентрации йодид-ионов в двух образцах упакованной питьевой воды торговых марок № 5 и 6 находились в диапазоне 0,02–0,03 мг/л, что не выходит за рамки нормативных значений для двух возрастных групп (норматив — 0,06 и 0,125 мг/л соответственно).

Таким образом, проведённая оценка качества воды показала отсутствие нарушений нормативов

Таблица 2. Оценка доли физиологической потребности в минеральных веществах, покрываемой упакованной питьевой водой у детей 1–2 лет**Table 2.** Assessment of the contribution of packaged drinking water to meeting the physiological requirements for minerals in children aged 1–2 years

Минеральные вещества	Доля от физиологической нормы, %					Норма физиологической потребности, мг
	Торговые марки воды					
	№1	№2	№3	№4	№5	
Кальций	2,5	3,0	4,0	3,1	3,4	800
Магний	7,8	11,7	9,0	13,2	9,7	80
Натрий	0,7	1,4	0,6	0,4	0,7	500
Калий	<0,03	0,7	0,07	0,2	0,2	1000
Железо	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	10,0
Медь	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5
Цинк	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	5,0
Марганец	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5
Молибден	<2	<2	<2	<2	<2	0,015
Хром	<6	<6	<6	<6	<6	0,011
Селен	<2	<2	<2	<2	<2	0,015
Хлориды	2,1	6,6	0,6	0,05	0,8	800
Фтор	<5	< 5	21,7	32,5	15,2	0,6
Фосфор	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	600
Йодид	<14	<14	<14	<14	23	0,09

по исследованным показателям химической безопасности, все образцы соответствовали требованиям технического регламента, предъявляемым к упакованной питьевой воде для детей от 0 до 3-х лет и старше 3-х лет.

На основании данных о содержании эссенциальных макро- и микроэлементов в исследованных образцах рассчитаны показатели обеспечения физиологической потребности в минеральных веществах за счёт детской бутилированной воды различных производителей для двух возрастных групп: 1–2 и 7–10 лет.

В табл. 2, 3 представлена доля обеспечения физиологической потребности в минеральных веществах за счёт поступления исследованных элементов с питьевой водой у детей двух возрастных групп, рассчитанная по медианным значениям концентраций, приведённых в табл. 1. При анализе полученных данных в качестве лимитирующего критерия мы использовали показатель <5–20% физиологической потребности.

Доля содержания эссенциальных металлов при сравнении с нормами физиологической потребности для детей раннего возраста (1–2 лет) составила: по кальцию — 2,5–4,0%; магнию — 7,8–13,2%. Вклад натрия и калия, участвующих в поддержании водного баланса, оценивали соответственно 0,4–1,4 и <0,03–0,7% нормы физиологической потребности детей.

Содержание железа, меди, марганца и цинка в исследованных образцах было на уровне или меньше НПКО методик, поэтому расчёт их доли в обеспечении

Таблица 3. Оценка доли физиологической потребности в минеральных веществах, покрываемой упакованной питьевой водой у детей 7–10 лет**Table 3.** Assessment of the contribution of packaged drinking water to meeting the physiological requirements for minerals in children aged 7–10 years

Минеральные вещества	Доля от физиологической нормы, %		Норма физиологической потребности, мг
	Торговые марки воды		
	№6, мальчи- ки (девочки)	№7, мальчики (де- вочки)	
Кальций	8,8 (8,1)	3,5 (3,2)	1100
Магний	10,2 (9,3)	4,9 (4,5)	250
Натрий	0,9 (0,8)	0,6 (0,6)	1000
Калий	0,1 (0,1)	<0,03 (<0,03)	2000
Железо	0,006 (0,006)	0,006 (0,006)	10
Медь	<0,2 (<0,2)	<0,2 (<0,2)	0,7
Цинк	0,6 (0,6)	<0,4 (<0,4)	12
Марганец	<0,08 (<0,08)	<0,08 (<0,08)	1,5
Молибден	<2	<2	0,03
Хром	<8 (<8)	<8 (<8)	0,015
Селен	10 (9,2)	<4 (<4)	0,03
Хлориды	0,9 (0,8)	1,9 (1,7)	1700
Фтор	25 (21,5)	<5 (<5)	1,4 (1,5)
Фосфор	<0,009 (<0,008)	<0,009 (<0,008)	800
Йодид	27 (26)	<27 (<26)	0,09

физиологической потребности определяли исходя из величин НПКО и объёма потребляемой воды: $<0,3$; $<0,1$; $<0,1$ и $<0,007\%$ соответственно.

Среди определяемых анионов наибольшие значения получены для фторид-ионов: в упакованной питьевой воде торговых марок № 3–5 их доля составила 21,7, 32,5 и 15,2% соответственно. Йодид-ион выше НПКО выявлен только в воде торговой марки № 5 — 23%. Поступление фосфора с водой оказалось незначительным ($<0,006\%$), а хлоридов — в диапазоне 0,05–6,6%.

Анализ образцов воды, предназначенной для детей до трёх лет, показал крайне низкое поступление таких эссенциальных элементов, как железо, медь, марганец, калий, натрий, а также фосфор. Доля кальция и магния ограничена и не превышает в среднем 3 и 10% соответственно, а хлоридов — 2%. Наибольшие колебания зафиксированы по фтору: от минимальных значений до 32,5%.

Результаты исследования питьевой воды для детей старше трёх лет продемонстрировали аналогичную тенденцию. Так, поступление кальция и магния варьирует в диапазоне от 3,2 до 8,8% и от 4,5 до 10,2% соответственно в зависимости от торговой марки образца. Кроме того, отмечено минимальное поступление с водой таких нутриентов, как цинк, медь, железо, марганец и фосфор.

Поступление калия не превышает 0,1%, натрия — 0,9% нормы физиологической потребности. Доля фторидов от суточной дозы варьирует от <5 до 25%.

Железо, селен и йодид обнаружены только в образцах упакованной питьевой воды одной торговой марки (№ 6). В этой же воде отмечено поступление нутриентов более 20% для фторидов и йодидов.

В результате выполненного анализа минерального состава исследованных образцов воды выявлено, что ни одна торговая марка не обеспечивает вклад в суточное потребление следующих эссенциальных элементов (20%): натрия, калий, цинк, медь, железо, марганец, хлориды и фосфор. Одновременно на фоне минимальных количеств эссенциальных элементов отмечено значительное присутствие фторидов в суточном поступлении минералов, которые считаются условно-эссенциальными. Кроме того, установлено, что поступление йодидов для образцов питьевой воды торговой марки № 6 находится на значимом уровне (см. табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Проведённая оценка качества воды показала отсутствие нарушений нормативов по исследованным показателям химической безопасности, все образцы соответствовали требованиям технического регламента, предъявляемым к упакованной питьевой воде для детей от 0 до 3-х лет и старше 3-х лет.

Интерпретация результатов исследования

Следует отметить, что в соответствии с ТР ЕАЭС 044/2017⁴ содержание калия в упакованной питьевой воде для детского питания не регламентируется. В Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требованиях в разделе 9 (глава II) «Требования к питьевой воде, расфасованной в ёмкости»⁶ указаны критерии качества и безопасности воды, включая для воды высшей категории, которую можно использовать для детского питания. В соответствии с данными требованиями, норматив содержания калия в воде высшей категории — от 2 до 20 мг/л. Следовательно, образцы детской воды торговых марок № 1, 3 и 7 не соответствуют нормативному значению по нижней границе нормируемого диапазона. Однако единые санитарные правила не применяются в части требований к упакованной питьевой воде в связи с вступлением в силу ТР ЕАЭС 044/2017⁴. Кроме того, исследованный перечень показателей ориентирован на последующее изучение в части обеспечения физиологической потребности в минеральных веществах и не содержит многие индикаторы химической безопасности упакованной питьевой воды.

Данные, которые мы получили при сопоставлении количеств минеральных веществ, поступающих в организм при употреблении воды с суточной потребностью в них, дают объективную информацию об упакованной питьевой воде как пищевом продукте. Результаты демонстрируют широкий диапазон значений доли минеральных элементов от их физиологической потребности. Среди группы макроэлементов только для кальция и магния отмечен более значимый процент поступления по сравнению с другими минералами данной группы (фосфор, калий, натрий, хлориды), который составляет 2,5–8,8 и 4,5–13% соответственно. В группе микроэлементов установлен процент поступления даже больше, чем у макроэлементов для отдельных образцов воды: для йода — 23–27% (торговые марки № 5 и 6); фтора — 15,2–32,5% (торговые марки № 3–6); селена — 10% (торговая марка № 6). Обращает внимание крайне незначительное поступление таких минеральных элементов, как калий, цинк, медь, железо, марганец и фосфор.

Не все эссенциальные и условно-эссенциальные элементы присутствуют в питьевой воде в концентрациях, значимых для обеспечения суточной потребности, однако в настоящем исследовании рассмотрен перечень показателей, приведённых в МР 2.3.1.0253–21³.

Несмотря на отсутствие дефицита продуктов питания с высокой пищевой ценностью, публикации, посвящённые организации детского питания, демонстрируют недостаточное и несбалансированное поступление биологически

⁶ Решение Комиссии таможенного союза № 299 от 28 мая 2010 г. «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)». Режим доступа: https://eec.eaeunion.org/upload/files/depsanmer/P2_299 Дата обращения: 08.12.2024.

активных веществ, включая минеральные, причём с возрастом эта тенденция усиливается [7, 24].

Оценка поступления эссенциальных элементов с питьевой водой, помимо её санитарно-гигиенической безопасности, может быть дополнительным ориентиром при анализе пищевого статуса населения, включая организованные группы. Для этого рассчитывают показатель доли обеспечения физиологической потребности в минеральных веществах за счёт питьевой воды. Существуют различные подходы к учёту вклада водного фактора в поступление макро- и микроэлементов, однако наибольшее значение имеют кальций и магний, обеспечивающие до 20% суточной потребности [21, 23, 25].

По большинству других элементов питьевая вода обеспечивает менее 5% общего потребления, за исключением фтора. Кроме того, рекомендовано условно принимать 20% вклад питьевой воды в общее пероральное поступление вещества в организм человека при получении недостаточной информации о ежедневном потреблении микронутриентов [20]. Необходимо подчеркнуть, что национальные и международные рекомендации по питанию должны основываться на фактической информации о достаточности или избытке минеральных веществ. Получение достоверных данных о содержании показателей минерального состава в конкретном продукте питания является важнейшим этапом в оценке пищевого статуса.

Ограничения исследования

При расчётах доли поступления хрома, молибдена, селена (кроме торговой марки № 6), фтора, йодидов (кроме торговых марок № 5 и 6) с питьевой водой от нормы физиологических потребностей мы столкнулись с тем, что НПКО указанных веществ в воде и объём потребления её и напитков для поддержания водного баланса организма детей не позволяют провести точный расчёт их поступления в пределах <5–20%. Именно поэтому эти результаты не были учтены при формулировании выводов по проделанной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам лабораторных исследований упакованной детской воды семи торговых марок выявлено, что концентрации минеральных элементов во всех образцах не превышают нормативных значений, установленных ТР ЕАЭС 044/2017. Расчёт её вклада в обеспечение организма 15 минеральными веществами для двух возрастных групп детей демонстрирует широкий диапазон долей от их физиологической потребности. Среди эссенциальных элементов можно выделить группу, поступление которых с питьевой водой не имеет существенного значения — железо, медь, марганец, цинк, фосфор, калий и натрий. В то же время отдельные образцы детской

бутилированной воды демонстрируют вклад в обеспечение организма кальцием, магнием, фторидами, селеном, йодом до 32%. Таким образом, полученные результаты подтверждают целесообразность учёта питьевой воды как дополнительного источника отдельных эссенциальных и условно-эссенциальных элементов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.В. Шилов — концепция и дизайн исследования, редактирование текста рукописи; О.Л. Маркова — концепция и дизайн исследования, составление программы исследований, проведение лабораторных исследований, формирование базы данных, написание черновика рукописи; Д.С. Исаев — составление программы исследований, проведение лабораторных исследований, обработка и анализ полученных результатов, написание черновика рукописи, редактирование текста рукописи; М.Н. Кирьянова — проведение лабораторных исследований, формирование базы данных, редактирование текста рукописи; А.А. Ковшов — обработка и анализ полученных результатов, редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо, т.к. в качестве объектов исследования выбраны образцы бутилированной воды.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: V.V. Shilov: conceptualization, methodology, writing—review & editing; O.L. Markova: conceptualization, methodology, investigation, data curation, writing—original draft; D.S. Isaev: methodology, investigation, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; M.N. Kir'yanova: investigation, data curation, writing—review & editing; A.A. Kovshov: formal analysis, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable because bottled water samples were selected as the objects of the study.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Rakhmanin YA, Onishchenko GG. Hygienic Assessment of Drinking Water Supply of the Population of the Russian Federation: Problems and the Way Their Rational Decision. *Hygiene and Sanitation*. 2022;101(10):1158–1166. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-10-1158-1166 EDN: HKIARC
2. Rakitskii VN, Stepkin YI, Klepikov OV, Kurolap SA. Assessment of Carcinogenic Risk Caused by the Impact of the Environmental Factors on Urban Population Health. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(3): 188–195. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-3-188-195 EDN: OVKETW
3. Bermagambetova SK, Karimov TK, Tusupkaliev BT, Zinalieva AN. Peculiarities of Food Status of Children in Different Ecological Conditions. *Hygiene and Sanitation*. 2012;91(3):57–59. EDN: PEWOCH
4. *America's Children and the Environment* [Internet]. Washington: United States Environmental Protection Agency; 2013 [cited 2024 Dec 8]. Available from: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/ace3_2013.pdf
5. Starostina LS. Vitamin and Mineral Supply in Children: A Pediatrician's View. *Russian Journal of Woman and Child Health*. 2020;3(4):319–325. doi: 10.32364/2618-8430-2020-3-4-319-325 EDN: SNRNCY
6. Benton D; ILSI Europe a.i.s.b.l. Micronutrient Status, Cognition and Behavioral Problems in Childhood. *Eur J Nutr*. 2008;(47 Suppl. 3):38–50. doi: 10.1007/s00394-008-3004-9
7. Tapeskhina NV, Logunova TD, Korsakova TG, Pestereva DV. Analysis of Actual Nutrition of Schoolchildren at Different Age Periods. *Hygiene and Sanitation*. 2024;103(4):342–348. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-4-342-348 EDN: VLDIQQ
8. Koval'chuk VK, Istomin SD, Matveeva VN, et al. Hygienic Evaluation of Long-Term Dynamics of Post Treated Drinking Water Daily Consumption Indicators by Adolescent Population in Vladivostok. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(7):493–500. doi: 10.17816/humeco106956 EDN: BVBFXC
9. Klyuchnikov DA, Yarovenko AA. Physiological Adequacy of Drinking Water. *Uspekhi sovremennoj nauki i obrazovaniya*. 2016;5(6):119–122. EDN: WHNDFT
10. Shvarts AA, Eremin GB, Stepanyan AA, et al. Hygienic Assessment of Water Quality Underground Drinking Water Sources and Household Water Supply in the Gatchinsky District of the Leningrad Region. *Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya*. 2021;16(1):101–112. EDN: YZKOBP
11. Vyucheskaya DS, Bashketova NS, Badaeva EA. Development of the System of Sanitary Protection of the Water Sources in Russia. *Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya*. 2018;13(2):775–785. EDN: YTUKVN
12. Meleshkova IV, Meleshkov IP. Current Problems Related to the Influence of the Mineral Composition of Water and Diet on the Health of the Population. In: *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference With International Participation "Food Hygiene in the 21st Century: Achievements and Prospects"*. Saint Petersburg: North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; 2023. P. 154–162. (In Russ.) EDN: TBPRQH
13. Onishchenko GG. Drinking Water Supply in the Russian Federation: Problems and Ways of Their Solution. *Hygiene and Sanitation*. 2007;(1):10–13. EDN: HYIWMB
14. Sinitsyna OO, Plitman SI, Ampleeva GP, et al. Essential Elements and Standards for Their Contents in Drinking Water. *Health Risk Analysis*. 2020;(3):30–38. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.04 EDN: JLFLZG
15. Rakhmanin YA, Mikhailova RI. Food Risks Analysis and Water Safety. *Health Risk Analysis*. 2018;(4):31–42. doi: 10.21668/health.risk/2018.4.04 EDN: YUGRXV
16. Rakhmanin YuA, Krasovsky GN, Egorova NA, Mikhailova RI. 100 Years of Drinking Water Regulation. Retrospective Review, Current Situation and Prospects. *Hygiene and Sanitation*. 2014;93(2):5–18. EDN: SBKJEH
17. Kwok M, McGeorge S, Roberts M, et al. Mineral Content Variations Between Australian Tap and Bottled Water in the Context of Urolithiasis. *BJUJ Compass*. 2022;3(5):377–382. doi: 10.1002/bco2.168 EDN: SKBXHR
18. Onishchenko GG. Urgent Problems in the Implementation of the Resolutions of the United Nations Organization on Declaration of the Decade 2005–2015 as the International Decade "Water for life". *Hygiene and Sanitation*. 2005;(4):3–5. EDN: OJNQPR
19. Shilov VV, Markova OL, Yeregin GB, Isaev DS. International and domestic experience in standard regulation of bottled drinking water quality. *Hygiene and Sanitation*. 2024;103(8):884–894. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-8-884-894 EDN: CSXDNW
20. *Guidelines for Drinking-water quality: Forth Edition Incorporating the first and Second Addenda* [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2022. [cited 2024 Dec 8]. ISBN: 978-92-4-004506-4 Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/352532/9789240045064-eng.pdf?sequence=1>
21. *Nutrients in Drinking Water* [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2005 [cited 2024 Dec 8]. ISBN: 92-4-159398-9 Available from: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43403/924159398_eng.pdf
22. Miller JD, Workman CL, Panchang SV, et al. Water Security and Nutrition: Current Knowledge and Research Opportunities. *Advances in Nutrition*. 2021;12(6):2525–2539. doi: 10.1093/advances/nmab075 EDN: EBJWGT
23. *Calcium and Magnesium in Drinking-water: Public Health Significance* [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2009 [cited 2024 Dec 8]. ISBN: 978-92-4-156355-0 Available from: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43836/9789241563550_eng.pdf
24. Efimova NV, Myl'nikova IV, Turov VM. Hygienic Conditions of Supplementary Educational Organizations and Health of Children. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2020;27(3):23–30. doi: 10.33396/1728-0869-2020-3-23-30 EDN: GTLHRS
25. Yakubova ISh, Mel'tser AV, Erastova NV, Bazilevskaya EM. Hygienic Evaluation of the Delivery of Physiologically Wholesome Drinking Water to the Population of St. Petersburg. *Hygiene and Sanitation*. 2015;94(4):21–25. EDN: UHKVVR

ОБ АВТОРАХ

* **Шилов Виктор Васильевич**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 191036, Санкт-Петербург, 2-я Советская, д. 4;
ORCID: 0000-0003-3256-2609;
eLibrary SPIN: 3541-4782;
e-mail: vshilov@inbox.ru

Маркова Ольга Леонидовна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-4727-7950;
eLibrary SPIN: 6443-6585;
e-mail: olleonor@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Viktor V. Shilov**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 4 2nd Sovetskaya st, Saint Petersburg, Russia, 191036;
ORCID: 0000-0003-3256-2609;
eLibrary SPIN: 3541-4782;
e-mail: vshilov@inbox.ru

Olga L. Markova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0002-4727-7950;
eLibrary SPIN: 6443-6585;
e-mail: olleonor@mail.ru

Исаев Даниил Сергеевич;
ORCID: 0000-0002-9165-1399;
eLibrary SPIN: 1848-7272;
e-mail: d.isaev@s-znc.ru

Кириянова Марина Николаевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-9037-0301;
eLibrary SPIN: 8219-1749;
e-mail: mrn@ro.ru

Ковшов Александр Александрович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-9453-8431;
eLibrary SPIN: 8369-5825;
e-mail: a.kovshov@s-znc.ru

Daniil S. Isaev, MD;
ORCID: 0000-0002-9165-1399;
eLibrary SPIN: 1848-7272;
e-mail: d.isaev@s-znc.ru

Marina N. Kir'yanova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-9037-0301;
eLibrary SPIN: 8219-1749;
e-mail: mrn@ro.ru

Aleksandr A. Kovshov, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-9453-8431;
eLibrary SPIN: 8369-5825;
e-mail: a.kovshov@s-znc.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Гормональный статус молодых женщин, проживающих на Кольском Севере в условиях техногенного загрязнения

Н.К. Белишева, А.А. Мартынова, Э.И. Григорьева

Кольский научный центр Российской академии наук, Апатиты, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Влияние токсичного загрязнения окружающей среды на репродуктивную систему и высокая частота нарушений её становления у девушек, проживающих на Кольском Севере, обуславливают необходимость выявления возможной связи между репродуктивным здоровьем молодых женщин и техногенным воздействием.

Цель исследования. Оценка гормонального статуса как показателя репродуктивного здоровья у молодых женщин, проживающих в Апатитах (Мурманская область) в условиях техногенного загрязнения.

Методы. Проведено одноцентровое одномоментное исследование. Оценивали гормональный статус молодых женщин, проживающих в Апатитах, в два этапа: в ноябре 2022 г. и марте 2023 г. Содержание гормонов, участвующих в регуляции репродуктивных функций, оценивали на 3–5-й день менструального цикла (фолликулярная фаза): лютеинизирующий гормон, фолликулостимулирующий гормон, тестостерон, дегидроэпиандростеронсульфат, антимюллеров гормон, эстрадиол, 17-гидроксипрогестерон; на 19–21-й день цикла (лютеиновая фаза): прогестерон, пролактин, кортизол, секс-стероидсвязывающий глобулин, а также индекс свободных андрогенов. Концентрацию гормонов определяли в плазме крови с применением методов иммуноферментного анализа. Все данные статистически обрабатывали, коэффициенты корреляции и различия между показателями считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. В исследовании приняли участие 50 женщин в возрасте 16–22 лет. У более чем 30% из них выявлен специфический гормональный фенотип, характеризующийся отклонениями показателей репродуктивного здоровья от физиологической нормы. Этот фенотип отражает гормональный дисбаланс с признаками синдрома поликистозных яичников и гиперандрогении, который может быть обусловлен длительным воздействием ксенобиотиков на организм женщин и приводить к преждевременному истощению овариального резерва.

Заключение. Специфический гормональный фенотип с признаками эндокринной патологии, ассоциированной с маркерами синдрома поликистозных яичников и гиперандрогении, свидетельствует о риске развития бесплодия. Мы полагаем, что одной из возможных причин гормонального дисбаланса у женщин в Апатитах является техногенное воздействие окружающей среды, способное приводить к преждевременному истощению овариального резерва.

Ключевые слова: репродуктивное здоровье; молодые женщины; Кольский Север; техногенное загрязнение; гормональный статус.

Как цитировать:

Белишева Н.К., Мартынова А.А., Григорьева Э.И. Гормональный статус молодых женщин, проживающих на Кольском Севере в условиях техногенного загрязнения // Экология человека. 2025. Т. 32, № 8. С. 570–584. DOI: 10.17816/humeco678848 EDN: RZWEEV

Hormonal Status of Young Women Living in the Kola North Under Conditions of Technogenic Pollution

Natalia K. Belisheva, Alla A. Martynova, Elina I. Grigorieva

Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The impact of toxic environmental pollution on the reproductive system and the high prevalence of its developmental disorders among young women living in the Kola North necessitate investigation of the potential relationship between reproductive health of young women and technogenic exposure.

AIM: The work aimed to assess hormonal status as an indicator of reproductive health in young women residing in Apatity (Murmansk Region) under conditions of technogenic pollution.

METHODS: It was a single-center, cross-sectional study. The hormonal status of young women residing in Apatity was assessed in two stages: in November 2022 and March 2023. Concentrations of hormones involved in reproductive regulation were measured on days 3–5 of the menstrual cycle (follicular phase): luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, testosterone, dehydroepiandrosterone sulfate, anti-Müllerian hormone, estradiol, and 17-hydroxyprogesterone; and on days 19–21 (luteal phase): progesterone, prolactin, cortisol, sex hormone-binding globulin, and the free androgen index. Hormone concentrations were determined in plasma samples using enzyme immunoassay. Statistical analysis was performed, and correlation coefficients and intergroup differences were considered significant at $p < 0.05$.

RESULTS: The study included 50 women aged 16–22 years. More than 30% demonstrated a specific hormonal phenotype characterized by deviations of reproductive health indicators from physiological norms. This phenotype reflected hormonal imbalance with features of polycystic ovary syndrome and hyperandrogenism, potentially associated with prolonged exposure to xenobiotics and leading to premature depletion of ovarian reserve.

CONCLUSION: A specific hormonal phenotype with features of endocrine pathological condition associated with markers of polycystic ovary syndrome and hyperandrogenism indicates a risk of infertility. We suggest that one possible cause of hormonal imbalance in women living in Apatity is technogenic environmental exposure, which may result in premature depletion of ovarian reserve.

Keywords: reproductive health; young women; Kola North; technogenic pollution; hormonal status.

To cite this article:

Belisheva NK, Martynova AA, Grigorieva EA. Hormonal Status of Young Women Living in the Kola North Under Conditions of Technogenic Pollution. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):570–584. DOI: 10.17816/humeco678848 EDN: RZWEEV

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678848>

EDN: RZWEEV

居住在Kola North工业污染环境下的年轻女性的激素状态

Natalia K. Belisheva, Alla A. Martynova, Elina I. Grigorieva

Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

摘要

论证: 有毒环境污染对生殖系统的影响, 以及居住在Kola North地区的少女中生殖系统发育障碍高发的情况, 凸显了探讨年轻女性生殖健康与工业污染之间潜在联系的必要性。

目的: 评估居住在Apatity (Murmansk州) 年轻女性在工业污染条件下的激素状态, 以此作为其生殖健康的指标。

方法: 开展了一项单中心横断面研究。在2022年11月和2023年3月分两个阶段评估居住在Apatity的年轻女性的激素状态。检测月经周期第3–5天(卵泡期)与生殖功能调控相关的激素水平: 促黄体生成素、促卵泡生成素、睾酮、硫酸脱氢表雄酮、抗缪勒管激素、雌二醇、17-羟孕酮; 检测月经周期第19–21天(黄体期)的孕酮、泌乳素、皮质醇、性激素结合球蛋白及游离雄激素指数。激素浓度采用酶联免疫吸附试验测定。所有数据均进行统计学处理, 当 $p < 0.05$ 时, 相关系数和指标间差异被认为具有统计学意义。

结果: 共纳入50名16–22岁的女性。超过30%的受试者表现出特异性激素表型, 其生殖健康相关指标偏离生理正常范围。该表型反映了以多囊卵巢综合征和高雄激素血症特征为主的激素失衡, 可能与长期暴露于外源性化学物质相关, 并可能导致卵巢储备的过早消耗。

结论: 具有内分泌病理学特征、并与多囊卵巢综合征及高雄激素血症标志物相关的特异性激素表型提示存在不孕风险。我们认为, Apatity女性的激素失衡可能与环境工业污染有关, 而这种暴露可导致卵巢储备的提前耗竭。

关键词: 生殖健康; 年轻女性; Kola North; 工业污染; 激素状态。

引用本文:

Belisheva NK, Martynova AA, Grigorieva EA. 居住在Kola North工业污染环境下的年轻女性的激素状态. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):570–584. DOI: 10.17816/humeco678848 EDN: RZWEEV

收到: 23.04.2025

接受: 12.08.2025

发布日期: 27.08.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Репродуктивное здоровье во многом зависит от качества окружающей среды [1, 2], особенно в условиях промышленного загрязнения [3, 4]. Полагают, что ухудшение из года в год экологической обстановки может оказывать более сильное воздействие на функциональное состояние репродуктивной системы, чем изолированное влияние производственных факторов среды [5].

С процессом глобализации за последние 50 лет значительно возросло воздействие химических веществ, разрушающих эндокринную систему (Endocrine-Disrupting Chemicals, EDCs или ЭРХ) [6, 7]. Среди этих веществ особое значение имеет группа репродуктивных токсикантов, в первую очередь гормоноподобных ксенобиотиков (ГПК) [1, 8], к которым относят дихлордифенилтрихлорэтан и его метаболиты, а также другие пестициды, включая некоторые фосфорорганические соединения [9]. Предполагают, что воздействие ЭРХ в критические периоды формирования репродуктивной системы — во время внутриутробного развития или полового созревания — может оказывать долгосрочное влияние на функцию яичников и репродуктивное здоровье [6]. Показано, что они способны нарушать гормональную сигнализацию, приводят:

- к нарушениям менструального цикла;
- проблемам с фертильностью;
- повышенному риску возникновения синдрома поликистозных яичников (СПКЯ) или рака яичников [2, 6].

Нарушения репродуктивной функции лежат в основе бесплодия, которое является одной из наиболее актуальных проблем современного общества. Снижение показателей фертильности и увеличение числа репродуктивных расстройств регистрируют во всём мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), бесплодие затрагивает почти каждого шестого человека [10]. Исследования показали, что такие нарушения у женщин, как эндометриоз и СПКЯ, оказывающие решающее влияние на функцию яичников и фертильность, значительно возросли за последнее десятилетие [11, 12].

Арктику, в силу сочетания экстремальных природных и антропогенных факторов, их выраженности, а также геополитического значения, относят к территориям, где проблема репродуктивного здоровья наиболее актуальна [13–15]. Ведущий вклад в проблему заболеваемости населения в Арктике вносят территориальные техногенные загрязнения, обусловленные человеческой деятельностью. Так, Г.Ф. Янковская [16] продемонстрировала, что в условиях Кольского Заполярья при воздействии токсичного загрязнения окружающей среды становление репродуктивной функции девочек характеризуется высокой частотой нарушений, значительно превышающей соответствующие показатели

по Российской Федерации. Согласно её данным, только у 36,3% девочек-подростков не выявлено отклонений в соматополовом развитии, тогда как у а у 53,7% — наблюдали гипофункцию яичников.

В Кольском Заполярье Апатитско-Кировский район является территорией с критически высокой заболеваемостью детского и подросткового населения [17]. Данная территория характеризуется высоким уровнем пыления отходов, образующихся при переработке апатит-нефелиновой руды в хвостохранилище апатит-нефелиновой обогатительной фабрики (АНОФ-2), а также содержанием других токсических соединений в различных средах [18, 19]. Исследование физиологического статуса девушек репродуктивного возраста, проживающих в Апатитах, показало, что более чем у 25% обследованных выявлены отклонения от оптимальных концентраций адренокортикотропного гормона, кортизола, тиреотропного и соматотропного гормонов, тироксина, а также активностей ферментов антиоксидантной защиты [20]. Условия проживания в регионе с воздействием территориальных ксенобиотиков, обладающих, вероятно, репродуктивной токсичностью, обуславливают необходимость оценки состояния репродуктивного здоровья молодых женщин с использованием соответствующих индикаторов [21], отражающих функционирование гипоталамо-гипофизарно-яичниковой оси, нарушения функций которой играют ключевую роль в развитии бесплодия.

Цель

Оценка гормонального статуса как показателя репродуктивного здоровья у молодых женщин, проживающих в Апатитах (Мурманская область) в условиях техногенного загрязнения.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одноцентровое одномоментное исследование, включающее анкетирование молодых женщин и их комплексное обследование с оценкой соматометрических, гемодинамических, биохимических, гематологических и гормональных показателей.

Условия проведения исследования

Исследование проведено на базе Кольского научного центра Российской Академии наук. Оценку биохимических, гематологических и гормональных показателей осуществляли на основе анализа венозной крови, забор которой производили рано утром натощак. Исследования образцов крови выполняли в лицензированной клинико-диагностической лаборатории при больнице Центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике (филиал Кольского научного центра Российской академии наук).

Критерии соответствия

Критерии включения:

- молодые девушки — учащиеся медицинского колледжа, рождённые в Апатитах и проживающие в данном городе;
- наличие информированного добровольного согласия на участие в исследовании;
- возраст — от 16 до 22 лет;
- готовность участвовать в исследовании в соответствии с фазами менструального цикла: оценка содержания гормонов на 3–5-й день менструального цикла (фолликулярная фаза) и на 19–21-й день цикла (лютеиновая фаза).

Продолжительность исследования

Исследование выполняли в два этапа: в ноябре 2022 г. и марте 2023 г. Для каждой участницы продолжительность исследования определена как разница между забором крови на гормоны в фолликулярную и лютеиновую фазы менструального цикла.

Методы оценки общего состояния здоровья

Исследование включало анкетирование участниц с использованием анкеты, разработанной сотрудниками Центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике (филиал Кольского научного центра Российской академии наук). Анкетирование проводили анонимно, методом самозаполнения. В соответствии с его результатами, всем участницам предложено пройти комплексную оценку репродуктивного здоровья. Возраст менархе определяли при анкетировании ретроспективным методом; при ответах на вопросы анкеты учитывали длительность менструального цикла, его регулярность, длительность менструации и объём менструальной кровопотери, наличие или отсутствие ациклических маточных кровотечений, дисменореи.

Для характеристики соматометрических особенностей использовали показатели роста, массы тела, окружности грудной клетки в покое (ОГК, см), объёма груди (ОГ), окружности талии (ОТ, см) и бёдер (ОБ, см). Индекс массы тела (ИМТ, кг/м²) рассчитывали в соответствии с индексом Кетле II по формуле:

$$\text{ИМТ} = \frac{M}{P^2}, \quad (1)$$

где M — масса тела, кг; P — рост, м. Распределение по ИМТ проводили согласно классификации ВОЗ:

- дефицит массы тела — ИМТ <16 кг/м²;
- пониженная масса тела (гипотрофия) — 16,0–18,5 кг/м²;
- норма (нормотрофия) — 18,5–24,99 кг/м²;
- избыточная масса тела (гипертрофия) — 30 кг/м²;
- ожирение разной степени — >30 кг/м².

Измерение пульса осуществляли пальпаторным методом на лучевой артерии в течение 1 мин. Артериальное

систолическое и диастолическое давление (САД и ДАД соответственно, мм рт. ст.) фиксировали с применением механического тонометра в положении сидя не менее трёх раз с интервалом не менее 1 мин.

Клинический анализ крови включал оценку количества:

- лейкоцитов, $\times 10^9/\text{л}$;
- эритроцитов, $\times 10^{12}/\text{л}$;
- тромбоцитов, тыс.

Концентрацию гемоглобина (г/л) определяли с помощью гематологического анализатора Mindray® BC-6000 (Mindray Medical International Limited, Китай); скорость оседания эритроцитов (СОЭ, мм/ч) — ручным методом с использованием капилляров Панченкова.

Биохимические исследования выполнены на автоматическом биохимическом анализаторе Mindray® BS-240Pro (Mindray Medical International Limited, Китай) с использованием образцов сыворотки и плазмы крови, которые после забора крови из вены оставляли на 2 ч для свёртывания при комнатной температуре (или на ночь при -4°C) до центрифугирования (20 мин при ускорении 1000 g).

В плазме крови с использованием реактивов Mindray (Китай) определяли:

- глюкозу — глюкозооксидазным методом, ммоль/л;
- общий холестерин (ОХ) — энзиматическим методом с холестериноксидазой-пероксидазой, ммоль/л.

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

Гормональный статус молодых женщин, проживающих в Апатитах.

Дополнительные показатели исследования

Выявление корреляционных взаимосвязей между показателями состояния организма молодых женщин, потенциально указывающих на гормональные нарушения.

Анализ в группах

Для выявления ассоциации между нарушениями менструального цикла и гормональным статусом участниц исследования разделили на 2 группы: с нарушениями менструации (1-я группа) и без нарушений (2-я группа). Нарушение менструального цикла устанавливали на основе анализа анкетных данных, проводимого в рамках данного исследования. Общее число участников этих групп определяли наличием информации о менструациях и её ассоциации с гормональным статусом.

Методы измерения целевых показателей

Индикаторами состояния репродуктивной системы были концентрации гормонов, участвующих в регуляции репродуктивных функций. На 3–5-й день менструального цикла (фолликулярная фаза):

- лютеинизирующий гормон (ЛГ);
- фолликулостимулирующий гормон (ФСГ);

- тестостерон;
- дегидроэпиандростеронсульфат (ДГЭА-С);
- антимюллеров гормон (АМГ);
- эстрадиол;
- 17-гидроксипрогестерон (17-ОН-прогестерон).

На 19–21-й день цикла (лютеиновая фаза):

- прогестерон;
- пролактин;
- кортизол;
- секс-стероидсвязывающий глобулин (ССГ).

Иммуноферментный анализ (ИФА) проводили с использованием микропланшетного инкубатора/шейкера Statfax® 2200 [Awareness Technology, Inc., Соединённые Штаты Америки (США)], микропланшетного фотометра Statfax® 2100 (Awareness Technology, Inc., США) и микропланшетного вошера Statfax® 2600 (Awareness Technology, Inc., США). Методом трёхфазного ИФА определяли следующие гормоны:

- ССГ, нмоль/л [набор реагентов «ИФА-ССГ» (Алкор Био, Россия)];
- кортизол, нмоль/л [набор реагентов «СтероидИФА-кортизол» (Алкор Био, Россия)];
- ДГЭА-С, мкг/мл [набор реагентов «СтероидИФА-ДГЭА-сульфат» (Алкор Био, Россия)];
- пролактин, мМЕ/л [набор реагентов «ИФА-пролактин» (Алкор Био, Россия)];
- ФСГ, мМЕ/мл [набор реагентов «Гонадотропин ИФА-ФСГ» (Алкор Био, Россия)];
- ЛГ, мМЕ/мл [набор реагентов «Гонадотропин ИФА-ЛГ» (Алкор Био, Россия)];
- прогестерон, нмоль/л [набор реагентов «Стероид-ИФА-прогестерон» (Алкор Био, Россия)];
- тестостерон, нмоль/л [набор реагентов «Стероид-ИФА-тестостерон» (Алкор Био, Россия)];
- АМГ, нг/мл [набор реагентов «АМГ-ИФА» (ХЕМА, Россия)].

Индекс свободных андрогенов (ИСА) определяли по формуле [22]:

$$\text{ИСА} = \frac{\text{ТС}}{\text{ССГ}} \times 100, \quad (2)$$

где ТС — концентрация общего тестостерона, нмоль/л; ССГ — концентрация ССГ, нмоль/л.

Этическая экспертиза

Весь комплекс обследований выполняли с соблюдением норм и правил биомедицинской этики, представленных в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2013 год). Исследование одобрено этическим комитетом Центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике — филиал Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (протокол заседания № 1/2022 от 15.03.2022). Все участницы и, в случае необходимости,

их законные представители дали письменное информированное согласие на добровольное участие в исследовании.

Статистические процедуры

Запланированный размер выборки

Размер выборки предварительно не рассчитывали, поскольку он был детерминирован: с одной стороны — числом участниц, обучавшихся в медицинском колледже и согласившихся принять участие в исследовании, с другой стороны — ограниченным количеством наборов реагентов, обусловленным объёмом финансирования темы научно-исследовательской работы.

Статистические методы

Статистический анализ проводили в соответствии с рекомендациями, приведёнными в работе Т.Н. Унгурия и соавт. [23], с использованием пакета программ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Нормальность распределения значений исследуемых показателей проверяли с помощью критериев Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса и критерия Шапиро–Уилка. Данные представлены в виде $M \pm SD$, где M — среднее значение, а SD — стандартное отклонение, а также в виде $Me [Q1; Q3]$, где Me — медиана, а $Q1$ и $Q3$ — 1-й и 3-й квартиль соответственно. Кроме того, определяли процентильное распределение. Значимость различий между группами отдельных показателей оценивали с использованием непараметрических методов (U-критерий Манна–Уитни, тест Колмогорова–Смирнова), а также t-критерия для независимых переменных. В случае нормального распределения показателей, для оценки степени связи между ними использовали критерий Пирсона, при нарушении нормальности распределения применяли коэффициент ранговой корреляции Спирмена [23]. При сравнении групп и выявлении связей между переменными критический уровень статистической значимости составил $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Формирование выборки

В исследовании приняли участие 50 молодых женщин, однако в силу объективных причин не у всех удалось определить содержание отдельных гормонов, поэтому количество участниц варьирует. Кроме того, сформировано две группы:

- 1-я группа — молодые девушки с нарушениями менструального цикла, $n=17$ ($19,5 \pm 1,5$ года);
- 2-я группа — молодые девушки без нарушений менструального цикла, $n=13$ ($19,1 \pm 1,1$ года).

Характеристики выборки

Для оценки общего здоровья участниц исследования и его связи с уровнем гормонов, регулирующих функции

Таблица 1. Соматометрические и гемодинамические показатели молодых женщин, проживающих в Апатитах**Table 1.** Somatometric and hemodynamic parameters of young women living in Apatity

Индикаторы	<i>n</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>	Min–max	<i>Me</i> [<i>Q1</i> ; <i>Q3</i>]	<i>P10</i>	<i>P90</i>
Возраст, лет*	50	19,7±1,4	16,0–22,0	20 [19,0; 20,0]	18,0	22,0
Возраст, лет	28	19,2±1,4	16,0–22,0	19 [18,0; 20,0]	18,0	21,0
Рост, см	28	164,5±6,9	152,0–175,0	164 [158,5; 170,5]	155,0	174,0
Масса тела, кг*	28	60,2±11,0	45,0–93,6	52,9 [52,0; 67,5]	49,0	77,0
Индекс массы тела, кг/м ² *	28	22,2±3,5	17,2–32,6	21,8 [19,4; 23,6]	18,7	27,0
Объём груди, см*	28	86,8±9,6	73,0–118,0	86,5 [79,0; 91,0]	76,0	99,0
Окружность грудной клетки в покое, см	28	77,6±8,6	64,0–98,0	75,5 [71,0; 84,0]	68,0	89,0
Окружность талии, см*	28	71,3±8,7	59,0–92,0	68,5 [65,0; 74,0]	62,0	88,0
Окружность бёдер, см*	28	98,4±8,1	90,0–124,0	95 [92,5; 104,5]	91,0	110,0
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст.	28	113,4±8,9	98,0–133,0	115 [106,0; 120,8]	101,0	123,0
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.	28	74,4±6,9	60,0–89,0	75,25 [69,5; 79,0]	66,0	83,0
Частота сердечных сокращений, в мин	28	76,6±9,7	50,0–92,1	76,5 [73,0; 85,0]	63,0	88,0

Примечание. Данные представлены в виде *M*±*SD*, где *M* — среднее значение, а *SD* — стандартное отклонение, а также в виде *Me* [*Q1*; *Q3*], где *Me* — медиана, а *Q1* и *Q3* — 1-й и 3-й квартиль соответственно; *P10* и *P90* — 10-й и 90-й процентиль; min–max — минимальное и максимальное значение. * — показатели не подчиняются нормальному распределению.

репродуктивной системы, проанализированы соматометрические, гемодинамические (табл. 1), биохимические, гематологические и гормональные (табл. 2) индикаторы физиологического состояния.

У большинства молодых женщин ИМТ соответствует нормальным показателям для женщин в возрасте 20 лет и старше по данным ВОЗ (18,5–24,9 кг/м²). Однако у 10% участниц исследования этот показатель превышает норму (см. табл. 1). Артериальное давление также соответствует диапазону нормы для возрастной группы 18–29 лет (САД и ДАД — 90–130 и 60–80 мм рт. ст. соответственно), однако их средние значения (см. табл. 1) свидетельствуют о тенденции к гипотонии. Значения ЧСС также находятся в диапазоне нормы.

По данным табл. 2, содержание глюкозы, ОХ, гемоглобина, а также количество лейкоцитов и эритроцитов у большинства участниц исследования находятся в пределах референсных значений, как и показатель СОЭ. Таким образом, гемодинамические, биохимические и гематологические индикаторы физиологического состояния свидетельствуют о том, что здоровье большинства обследованных женщин соответствует норме, определяемой данными индикаторами.

Основные результаты исследования

Характеристика гормонального статуса молодых женщин, проживающих в Апатитах, продемонстрирована в табл. 2. Важным критерием гормональной зрелости девушек является возраст наступления менархе (см. табл. 2).

Все соматометрические показатели, за исключением роста, были выше, чем во 2-й группе, однако выявленные

различия не достигали уровня статистической значимости $p < 0,05$.

Однако обнаружены тенденции к снижению содержания отдельных гормонов у женщин 1-й группы в сравнении со 2-й группой соответственно, а именно:

- ЛГ — 9,4±4,56 против 10,3±4,1 мМЕ/мл;
- ФСГ — 8,67±3,16 против 8,85±1,84 мМЕ/мл;
- прогестерона — 30,8±20,7 против 32,8±23,0 нмоль/л;
- пролактина — 398±138,0 против 526±258 мМЕ/л;
- эстрадиола — 31,5±10,7 против 41,2±19,8 пг/мл.

В свою очередь, в 1-й группе выявлено повышение содержания следующих гормонов относительно 2-й группы, а именно:

- ДГЭА-С — 2,93±1,16 против 2,43±0,66 мкг/мл;
- АМГ — 4,64±2,81 против 4,53±2,30 нг/мл;
- тестостерона — 2,85±1,04 против 2,42±0,34 нмоль/л;
- 17-ОН-прогестерона — 3,97±1,75 против 3,2±1,65 нмоль/л.

Кроме того, отмечена тенденция к увеличению ИСА в 1-й группе в сравнении со 2-й (6,51±4,44 против 3,72±2,13).

Дополнительные результаты исследования

Для выявления дополнительных ассоциаций между показателями состояния организма молодых женщин, которые могли бы указывать на гормональные нарушения, мы провели корреляционный анализ. В зависимости от характера распределения показателей, значимость коэффициентов корреляции оценивали с использованием критерия Пирсона или ранговой корреляции Спирмена. Согласно коэффициентам ранговой корреляции Спирмена, возраст наступления менархе оказался отрицательно

Таблица 2. Показатели физиологического и гормонального статуса молодых женщин, проживающих в Апатитах**Table 2.** Parameters of physiological and hormonal status of young women living in Apatity

Индикаторы	n	M±SD	Min–max	Me [Q1; Q3]	P10	P90	Референсные значения
Возраст, лет ¹	50	19,7±1,4	16,0–22,0	20,0 [19,0; 20,0]	18,0	22,0	—
Менархе, лет ¹	50	12,6±0,9	11,0–15,0	12,5 [12,0; 13,0]	12,0	13,5	—
Глюкоза, ммоль/л	45	4,76±0,62	3,5–6,3	4,80 [4,40; 5,00]	3,90	5,60	3,5–6,2
Общий холестерин, ммоль/л	45	4,34±0,53	3,0–5,2	4,30 [4,00; 4,80]	3,70	5,00	до 5,17
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	45	5,8±1,4	3,2–9,7	5,6 [4,8; 6,4]	4,0	7,5	4,0–9,0
Скорость оседания эритроцитов, мм/ч	45	5,6±3,4	2,0–14,0	5,0 [3,0; 7,0]	2,0	11,0	2,0–15,0
Гемоглобин, г/л	45	129,4±13,5	97,0–160,0	134,0 [120,0; 138,0]	111,0	144,0	120–140
Тромбоциты, ×10 ⁹ /л ¹	45	212,5±57,3	20,0–360	200,0 [180,0; 244,0]	160,0	280,0	180–320
Эритроциты, ×10 ¹² /л	45	4,3±0,3	3,6–5,1	4,3 [4,1; 4,5]	3,9	4,7	3,9–4,7
Лютеинизирующий гормон, мМЕ/мл	48	10,0±4,38	2,4–19,0	9,60 [6,35; 12,90]	4,30	17,00	1,1–8,7 ³
Фолликулостимулирующий гормон, мМЕ/мл	49	8,45±2,92	1,18–16,3	8,42 [6,65; 9,70]	5,10	12,31	1,8–11,3 ³
Эстрадиол, пг/мл	28	36,9±21,2	10,0–97,0	32,0 [21,0; 45,0]	17,0	68,0	30–100
Дегидроэпиандростеронсульфат, мкг/мл	49	2,92±1,23	0,91–6,35	2,61 [2,14; 3,71]	1,36	4,83	0,8–3,9
Дегидроэпиандростеронсульфат, мкг/дл		292±123	91–635	261 [214; 371]	136	483	—
Тестостерон, нмоль/л	29	2,98±0,97	1,76–5,42	2,79 [2,14; 3,69]	1,81	4,38	0,5–4,3
Тестостерон, нг/дл		85,8±27,9	50,7–156,1	80,4 [61,6; 106,3]	52,1	126,1	15,0–95,0 или 2,5–70,0
Секс-стероидсвязывающий глобулин, нмоль/л ¹	43	66,3±39,7	21,8–223,0	54,2 [37,5; 89,2]	27,4	112,3	14,1–129
Индекс свободных андрогенов ¹	23	5,4±3,3	1,47–14,09	4,91 [2,97; 6,60]	2,22	9,93	<5,5
Антимюллеров гормон, нг/мл ¹	49	5,01±2,79	1,86–12,45	4,08 [2,65; 7,24]	2,30	10,08	0,2–12,6 ²
Антимюллеров гормон, пмоль/л ¹	50	35,1±20,3	13,3–88,93	28,68 [18,93; 51,71]	16,00	68,75	—
Прогестерон, нмоль/л ¹	45	28,6±20,2	5,79–81,48	20,40 [10,97; 40,92]	8,34	57,31	10–89 ⁴
Прогестерон, мМЕ/л	43	501±211	156–982	466,0 [323,0–637,0]	223,0	775,0	67–726
Пролактин, нг/мл	45	23,6±9,9	7,33–35,44	21,9 [15,2; 29,9]	10,5	36,4	2–25
17-гидроксипрогестерон, нмоль/л ¹	29	3,66±1,77	1,24–8,74	3,33 [2,42; 4,44]	1,74	6,32	<0,3–2,06
Кортизол, нмоль/л	45	419,9±144,9	127–754	433,0 [301,0; 483,0]	230,0	667,0	150–660

Примечание. Данные представлены в виде M±SD, где M — среднее значение, а SD — стандартное отклонение, а также в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно; P10 и P90 — 10-й и 90-й процентиль; min–max — минимальное и максимальное значение.

¹ — показатели не подчиняются нормальному распределению; ² — значения представлены для женщин в возрасте 18–30 лет; ³ — фолликулярная фаза; ⁴ — лютеиновая фаза.

связан с соматометрическими показателями, такими как рост ($r=-0,42$), масса тела ($r=-0,48$), ОТ ($r=-0,44$) и ОБ ($r=-0,46$), $p < 0,05$. Кроме того, между возрастом наступления менархе и количеством тромбоцитов ($r=0,48$), а также концентрацией АМГ ($r=0,42$) выявлена положительная корреляционная связь, $p < 0,05$. В свою очередь, отрицательная корреляционная связь установлена между концентрациями АМГ и эстрадиола ($r=-0,39$), тогда как положительная — между концентрацией АМГ и ЧСС ($r=0,53$), $p < 0,05$. Нарушения менструального цикла оказались связаны с содержанием ЛГ обратной корреляцией ($r=-0,42$; $p < 0,05$), что отражает снижение его

концентрации у молодых женщин 1-й группы по сравнению со 2-й группой.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Проведённое исследование показало, что более чем у 30% молодых женщин, участвовавших в исследовании, выявлен специфический гормональный фенотип, характеризующийся различной степенью отклонения показателей, отражающих репродуктивное здоровье,

от физиологической нормы. Нарушения менструального цикла, выявленные у более чем 50% участниц исследования и сопровождающиеся повышением концентрации андрогенных гормонов (ДГЭА-С, тестостерона), увеличением ИСА, снижением содержания эстрадиола, а также превышением концентрации АМГ как минимум у 25% молодых женщин, можно рассматривать как возможные проявления СПКЯ и ГАГ.

Интерпретация результатов исследования

Анализ гормонального профиля у участниц исследования, показал, что средние значения концентрации ЛГ превышают верхнюю границу референсного диапазона (8,7 мМЕ/мл), а содержание ФСГ приближено к его верхней границе (11,3 мМЕ/мл) и в 10% случаев превышает её (см. табл. 2).

Признаком гипопункции яичников является низкое содержание эстрадиола, медианные показатели которого в нашем исследовании приближены к нижней границе референсных значений (30 пг/мл). Кроме того, у 25% участниц исследования его концентрация была ниже нормы (см. табл. 2).

Содержание ДГЭА-С у более чем 25% молодых женщин приближено к верхней границе нормы — 3,7 мкг/мл (Q3), а у 10% (90-й перцентиль) — превышает её, при референсном верхнем значении 4,8 мкг/мл. Согласно данным E. Lerchbaum и соавт. [22], нормальная концентрация тестостерона у женщин репродуктивного возраста составляет <2,67 нмоль/л, а по данными C. Ayala и соавт. [24], у женщин младше 35 лет — 26,67 нг/дл. Эти показатели существенно ниже значений, полученных в нашем исследовании (см. табл. 2). Таким образом, если ориентироваться на работы E. Lerchbaum и соавт. [22], а также C. Ayala и соавт. [24], то у более чем 50% участниц нашего исследования концентрация тестостерона превышает значения нормы. Оценка содержания ССГ показала, что его значения находятся в пределах референсного диапазона. Однако ИСА, который в норме составляет <5,5 [22], а по данным J.S. Laven и соавт. [25] — <4,5, у не менее чем 25% женщин превышал значение 5,5 (Q3), а у 50% — 4,5 (см. табл. 2).

Наиболее признанным индикатором фертильности у женщин является концентрация АМГ [25–27], которую рассматривают как потенциальный клинический маркер овариального резерва и реакции на гонадотропины [21, 27]. По данным J.S. Laven и соавт. [25], у нормоовуляторных женщин медианное значение содержания АМГ составляет 2,1 мкг/л (min–max: 0,1–7,1). Кроме того, существуют сведения, что концентрация АМГ у женщин в возрасте младше 35 лет составляет 20,8 пмоль/л (3,6–37,2) [26, 28], что соответствует значению АМГ только у 25% молодых женщин в нашем исследовании. В свою очередь, у 50% молодых женщин его содержание превышает эти значения (см. табл. 2).

Концентрация прогестерона в лютеиновой фазе

менструального цикла у 25% молодых женщин в нашем исследовании практически соответствовала нижней границе референсных значений — 11,0 нмоль/л (Q1) при норме 10–89 нмоль/л. Содержание пролактина у 25% участниц исследования, напротив, приближалось к верхней границе нормы 637 мМЕ/л (Q3), а у 10% — превышало её (775 мМЕ/л при референсном пределе 726 мМЕ/л.)

Особого внимания заслуживает выявленное превышение концентрации 17-ОН-прогестерона в фолликулярной фазе — $3,66 \pm 1,77$ нмоль/л при верхней границе нормы 2,06 нмоль/л. По данным М.Р. Микитюк и соавт. [29], повышение концентрации 17-ОН-прогестерона, а также снижение содержания кортизола, а в некоторых случаях — гиперпрогестеронемия, являются основными критериями диагностики ГАГ. В нашем исследовании содержание кортизола в целом находится в диапазоне референсных значений, однако у 10% молодых женщин приближается к нижней границе референсного диапазона — 230 нмоль/л (см. табл. 2).

Следует отметить, что у молодых женщин 1-й группы выявлена тенденция к увеличению соматометрических показателей, повышению содержания андрогенных и снижению концентрации женских половых гормонов, что может свидетельствовать о возможной ассоциации с СПКЯ и ГАГ [24–26].

Полученные корреляционные зависимости свидетельствуют о том, что более поздние сроки наступления менархе в сочетании со снижением соматометрических показателей и повышением концентрации АМГ можно рассматривать как дополнительные маркеры гормональных нарушений, связанных с СПКЯ и ГАГ. Кроме того, выявленное снижение уровня эстрадиола при повышении АМГ, ассоциированного с ЧСС, а также снижение содержания ЛГ при нарушении менструального цикла дополняют комплекс возможных гормональных нарушений, обуславливающих поздние сроки становления менструальной функции и сопряжённых с риском развития СПКЯ и ГАГ.

Можно предположить, что гормональные нарушения обуславливают и характер менструальных кровотечений, косвенным показателем чего является положительная корреляционная связь между возрастом наступления менархе и количеством тромбоцитов. Роль тромбоцитов в регуляции менструального цикла только начинают активно изучать, однако уже существует представление о них как о корпускулярных мессенджерах, способных модулировать функции гипоталамо-гипофизарно-яичниковой системы [30, 31].

Для оценки распространённости гормональных отклонений у молодых женщин проанализирована частота встречаемости определённых концентраций АМГ, 17-ОН-прогестерона, прогестерона, а также ИСА как маркеров СПКЯ и ГАГ (рис. 1) [29–31].

Анализ показал, что содержание АМГ, превышающее пороговые значения (42,1 пмоль/л или 5,89 нг/мл),

характерное для женщин с СПКЯ [32], выявлено у 28% обследованных (АМГ >6 нг/мл). Частота встречаемости концентрации 17-ОН-прогестерона >3 нмоль/л, рассматриваемой как один из маркёров ГАГ [29], составила 62%, тогда как содержание прогестерона <15 нмоль/л, ассоциированное с ГАГ и ановуляцией [33], отмечено в 37,8% случаев. Сопоставимая частота (37,5%) установлена для значений ИСА >5,5, также рассматриваемых в качестве диагностического критерия ГАГ [22]. Таким образом, анализ гормональных маркёров продемонстрировал, что более чем у 30% молодых женщин, участвовавших в исследовании, выявлены отклонения, свидетельствующие о вероятных нарушениях репродуктивного здоровья, ассоциированных с СПКЯ и ГАГ.

С целью выяснения того, чем обусловлены отклонения в гормональном статусе молодых женщин, проживающих в Апатитах, — локальными особенностями контаминации окружающей среды или воздействием высоких широт, мы сравнили содержание гормонов в выборке участниц нашего исследования с соответствующими показателями

у женщин, проживающих в сходных широтных и климатических условиях в Финляндии [32]. В нашем исследовании возможные проявления СПКЯ и ГАГ оценивали только по содержанию гормональных индикаторов. В свою очередь, Н. Sova и соавт. [32], наряду с оценкой концентраций гормонов, дополнительно учитывали и клинические данные. Это сравнение позволило установить, что у определённой доли женщин в нашем исследовании содержание гормонов соответствует клиническим проявлениям СПКЯ и ГАГ.

Результаты проведённого сравнения продемонстрированы в табл. 3. Так, несмотря на более молодой возраст участниц нашего исследования, их ИМТ не отличается от соответствующего показателя у женщин более старшего возраста в Финляндии (Контроль, Ф3). Согласно возрастным критериям для артериального давления, женщины в нашем исследовании и в выборке Н. Sova и соавт. [32] принадлежат к одной возрастной группе (18–29 лет). В соответствии с данными табл. 3, концентрации ФСГ и ЛГ у женщин, проживающих в Апатитах,

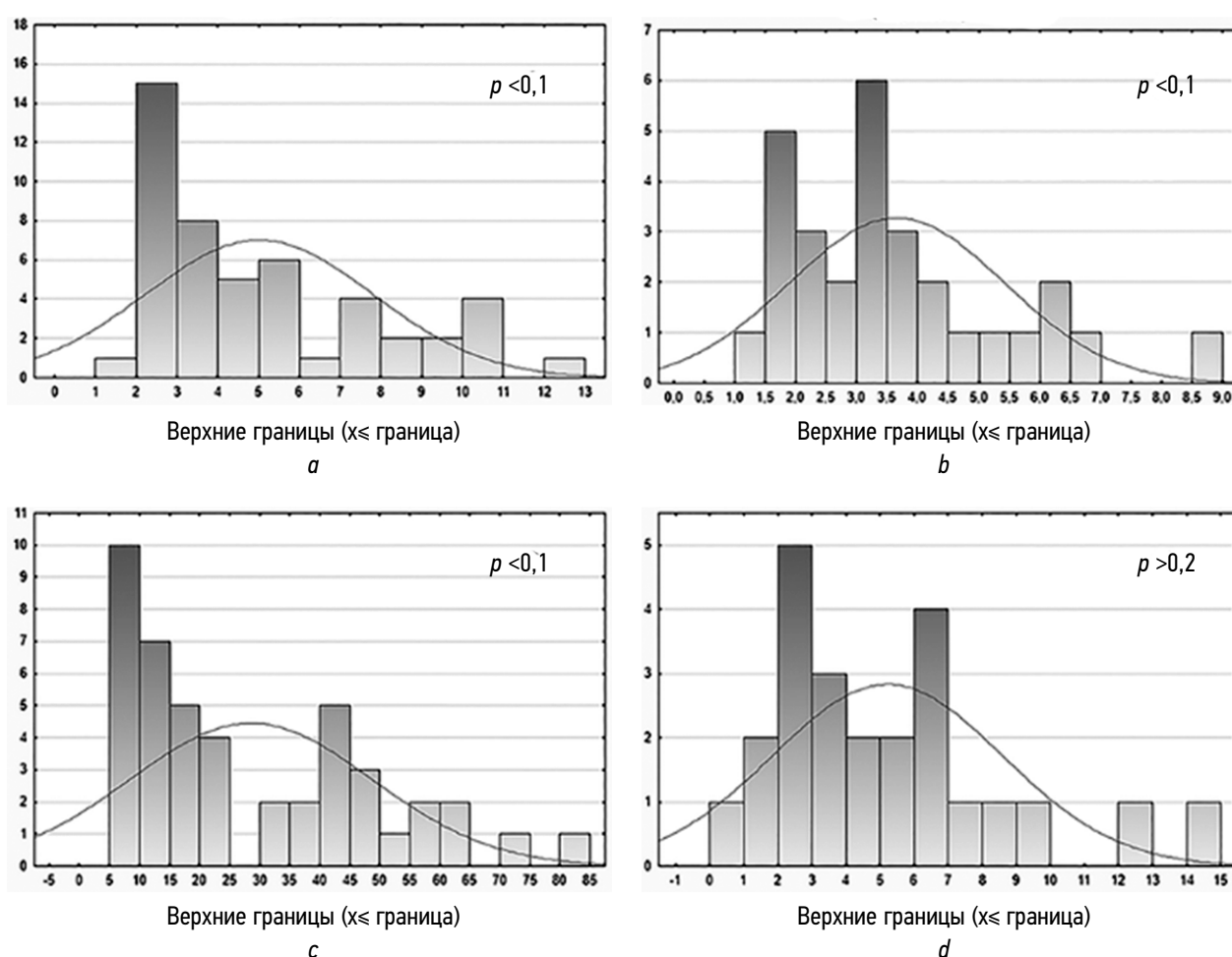


Рис. 1. Распределение частоты значений: *a* — концентрации антимюллера гормона, нг/мл; *b* — концентрации 17-гидроксипрогестерона, пмоль/л; *c* — концентрации прогестерона, пмоль/л; *d* — индекса свободных андрогенов. По осям абсцисс расположены соответствующие значения показателей, по осям ординат — число наблюдений или частота встречаемости соответствующих значений.

Fig. 1. Distribution of values for: *a*, anti-Müllerian hormone concentration, ng/mL; *b*, 17-hydroxyprogesterone concentration, pmol/L; *c*, progesterone concentration, pmol/L; *d*, free androgen index. The x-axis represents the corresponding values, and the y-axis represents the number of observations or frequency of occurrence of these values. AMH, anti-Müllerian hormone.

превышают контрольные значения у финских женщин в 1,5 и 3,0 раза соответственно, а также выше, чем в группах с СПКЯ (Ф1) и ГАГ + СПКЯ (Ф2). Содержание же эстрадиола, напротив, ниже, чем у финских женщин в группе Ф3 ($p=0,1438$), а также статистически значимо ниже, чем в группах Ф1 и Ф2. Содержание тестостерона в группе молодых женщин из Апатитов превышает значения соответствующих показателей в группах Ф1 и Ф2. Аналогичная тенденция отмечена и для содержания ССГ. Это обуславливает сопоставимость значений ИСА с группой Ф2 и более высокие его значения по сравнению с группой Ф1.

Однако средние значения АМГ у женщин из Апатитов были сопоставимы с соответствующими показателями у финских женщин в контроле (Ф3) и ниже, чем

в группах Ф1 и Ф2. Тем не менее более чем у 25% участниц нашего исследования содержание АМГ составило 51,7 пмоль/л (Q3), а у 10% — превысило 68,8 пмоль/л (90-й перцентиль), что соответствует значениям, характерным для групп Ф1 и Ф2 (см. табл. 3).

Таким образом, сопоставление гормонального статуса молодых женщин, участвовавших в нашем исследовании, с показателями женщин в группах Ф1, Ф2 и Ф3, проживающих в Финляндии, показало специфического гормонального фенотипа с признаками эндокринной патологии. Эта патология проявляется в превышении содержания ФСГ, ЛГ, тестостерона, ССГ по сравнению с референсными значениями. У более чем 25% молодых женщин также выявлено содержание АМГ, соответствующее диапазону, характерному для СПКЯ и ГАГ.

Таблица 3. Сравнение физиологических показателей женщин репродуктивного возраста, проживающих в Апатитах и Финляндии

Table 3. Comparison of physiological parameters of women of reproductive age living in Apatity and Finland

Апатиты	Финляндия			Значения p при сравнении групп		
	Ф1, $n=319$	Ф2, $n=136$	Ф3, $n=96$	Апатиты и Ф1	Апатиты и Ф2	Апатиты и Ф3
Возраст, лет						
19,7±1,4	28,1±4,3	28,2±3,9	26,0±5,2	<0,001	<0,001	<0,001
Индекс массы тела, кг/м²						
22,2±3,5	27,3±6,3	28,0±6,5	22,8±3,6	<0,001	<0,001	0,4365
Окружность талии, см						
71,3±8,7	85,0±15,0	86,6±15,8	—	<0,001	<0,001	—
Отношение окружности талии к окружности бёдер						
0,7±1,1	0,8±0,1	0,8±0,1	—	0,1164	0,2946	—
Глюкоза, ммоль/л						
4,76±0,62	5,1±0,5	5,1±0,4	—	<0,001	0,0003	—
Фолликулостимулирующий гормон, мМЕ/мл						
8,45±2,92	6,2±2,1	6,1±1,9	5,7±2,1	<0,001	<0,001	<0,001
Лютеинизирующий гормон, мМЕ/мл						
10,0±4,38	6,9±4,8	7,5±4,7	3,3±1,6	<0,001	0,0015	<0,001
Эстрадиол, пмоль/л						
132,2±77	268,5±207,9	309,3±238,8	155,9±74,4	<0,001	0,0002	0,1438
Тестостерон, нмоль/л						
2,98±0,97	1,6±0,7	2,0±0,7	—	<0,001	<0,001	—
Секс-стероидсвязывающий глобулин, нмоль/л						
66,3±39,7	50,9±27,7	51,5±26,9	—	0,1267	0,0060	—
Индекс свободных андрогенов						
5,4±3,3	3,8±2,5	4,7±2,6	—	0,0040	0,2535	—
Антимюллеров гормон, пмоль/л						
35,1±20,3	66,1±47,4	82,3±58,8	30,7±17,4	<0,001	<0,001	0,1759

Примечание. Данные представлены в виде $M \pm SD$, где M — среднее значение, а SD — стандартное отклонение. Апатиты — группа молодых женщин, проживающих в Апатитах; Ф1 — группа женщин с синдромом поликистозных яичников, проживающих в Финляндии; Ф2 — группа женщин с синдромом поликистозных яичников и гиперандрогенией, проживающих в Финляндии; Ф3 — контроль, здоровые женщины, проживающие в Финляндии.

Различия в гормональном статусе молодых женщин, проживающих в Апатитах и Финляндии при сходных высокоширотных условиях, позволяют предположить, что возможной причиной гормонального дисбаланса у женщин в Апатитах является техногенное воздействие среды проживания.

По данным литературы, нейроэндокринная регуляция овариально-менструального цикла и репродуктивной функции в целом является чрезвычайно чувствительной к воздействию экзогенных факторов [35]. Экологически зависимая патология репродуктивной системы развивается при нарушении всех типов адаптации. При этом репродуктивная система женщины отличается особой уязвимостью к неблагоприятным факторам среды любого происхождения и любой интенсивности, включая подпороговые. Кроме того, в формировании таких нарушений значимую роль играют как специфические, так и неспецифические, а также конституционные факторы [36].

Можно предположить, что окружающая среда в Апатитах включает репродуктивные токсиканты, в частности ГПК [7–9], источником которых может быть загрязнение атмосферы, почвы и питьевой воды промышленными отходами [18, 19].

Способность ГПК воздействовать на репродуктивный процесс обусловлена их возможностью связываться со специфическими рецепторами половых стероидов и имитировать действие естественных гормонов [8]. Это объясняется тем, что многие из них сходны со стероидными гормонами, поскольку являются фенолами или содержат фенольные фрагменты. Нарушения менструального цикла отмечены при профессиональном контакте с формальдегидом, фенолом, соединениями ртути, оксидами углерода и азота, углеводородами, ацетоном, сероводородом, сернистым ангидридом, меркаптаном [4].

Процесс производства цветной металлургии на Кольском Севере сопровождается выбросами загрязняющих веществ, включающих фенол, формальдегид, окислы азота, диоксид серы, окислы углерода, сероводород, аэрозоли хлоридов и сульфатов никеля, частицы тяжёлых металлов [37], распространение которых на Кольском полуострове зависит от розы ветров [38]. Кроме того, Апатиты находятся в зоне пыления хвостохранилища АНОФ-2 — одного из крупнейших источников загрязнения окружающей среды на Кольском полуострове [18, 19, 39, 40]. Атмохимический состав пылевых частиц включает частицы диоксида титана (3,84%) [18], редкоземельные элементы [39], обладающие нейротоксичностью [41], а также другие элементы. Особую опасность для репродуктивной системы представляют наночастицы диоксида титана, которые при вдыхании или попадании внутрь способны аккумулироваться в различных тканях, включая репродуктивные органы [42–44]. Установлено, что они могут нарушать процессы формирования половых клеток и передаваться следующему поколению.

В экспериментальных исследованиях продемонстрировано, что воздействие наночастиц диоксида титана приводит к повышению сывороточных концентраций ФСГ и ЛГ у мышей [44], а также снижению секреции прогестерона гранулёзными клетками [45].

Таким образом, специфический гормональный фенотип молодых женщин, проживающих в Апатитах, мог бы сформироваться под воздействием определённого спектра загрязняющих веществ, потенциально обладающих свойствами химических веществ, разрушающих эндокринную систему или ГПК. Результатом длительного действия химических факторов на организм женщины может быть возникновение синдрома преждевременного истощения яичников, обусловленного ускоренным истощением овариального резерва примордиальных фолликулов [46]. Эндокринологически процесс репродуктивного старения характеризуется прогрессивным повышением концентрации ФСГ, связанной со снижением содержания эстрадиола в сыворотке крови [21]. Именно повышенная концентрация ФСГ со снижением эстрадиола характерна для более чем 25% молодых женщин в нашем исследовании, что, вероятно, свидетельствует об ускоренном истощении овариального резерва. Гормональный дисбаланс с признаками СПКЯ и ГАГ у молодых женщин, проживающих в Апатитах, является тревожным симптомом потенциального бесплодия.

Ограничения исследования

Ограничением исследования является возраст молодых женщин, что затруднило привлечение дополнительных участниц для расширения выборки. Кроме того, забор анализов проводили на 3–5-й и 19–21-й день фолликулярной и лютеиновой фаз менструального цикла соответственно, что не позволило всем участницам своевременно явиться на приём. При планировании и проведении исследования размер выборки для достижения требуемой статистической мощности результатов не рассчитывали. В связи с этим полученную выборку участниц исследования невозможно считать в достаточной степени репрезентативной, что не позволяет экстраполировать полученные результаты и их интерпретацию на генеральную совокупность молодых женщин соответствующего возраста за пределами исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка репродуктивного здоровья молодых женщин, проживающих на Кольском Севере в Апатитах, с учётом гормональных индикаторов состояния репродуктивной системы, показала, что у более чем 30% участниц исследования выявлен специфический гормональный фенотип. Он характеризуется признаками эндокринной дисфункции, ассоциированной с маркерами СПКЯ и ГАГ, что можно рассматривать как симптом потенциального

бесплодия. Одной из причин гормонального дисбаланса у женщин в Апатитах является хроническое техногенное воздействие среды проживания, способное приводить к преждевременному истощению овариального резерва. Эта угроза репродуктивному здоровью молодых женщин требует проведения коррекции гормонального статуса при его нарушении, а также клинического обследования для оценки овариального резерва примордиальных фолликулов и прогнозирования перспектив возможной беременности. Кроме того, с учётом неблагоприятного воздействия окружающей среды на репродуктивную систему, необходимо раннее выявление гормональных отклонений у детей для своевременной их коррекции.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.К. Белишева — концепция исследования, анализ результатов и литературных данных, написание и редактирование текста рукописи; А.А. Мартынова — дизайн исследования, разработка анкеты, проведение исследования, анализ литературных данных, редактирование текста рукописи; Э.И. Григорьева — проведение клинико-диагностических исследований, анализ литературных данных. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом Центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике — филиал Кольского научного центра Российской академии наук (протокол № 1/2022 от 15.03.2022). Все участницы исследования и, в случае необходимости, их законные представители добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

Источники финансирования. Финансирование осуществляли на регулярной бюджетной основе в рамках проекта 450 Программы исследований и разработок № FMEZ-2025-0047 (на 2025–2027 гг.) 451, утверждённого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими

лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: N.K. Belisheva: conceptualization, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; A.A. Martynova: methodology, investigation, resources, writing—review & editing; E.I. Grigorjeva: investigation, resources. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved by the Ethics Committee of the Center for Biomedical Problems of Human Adaptation in the Arctic, a branch of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences (protocol No. 1/2022 dated March 15, 2022). All study participants, and where applicable their legal representatives, voluntarily signed an informed consent form approved by the Ethics Committee as part of the study protocol.

Funding sources: The study was funded on a regular budgetary basis under Research and Development Program project No. FMEZ-2025-0047 (2025–2027), approved by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: This article is an original study and does not contain borrowed material, including from the authors' own works, such as previously published texts, illustrations, or data.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. GBD 2021 Fertility and Forecasting Collaborators. Global Fertility in 204 Countries and Territories, 1950–2021, With Forecasts to 2100: A Comprehensive Demographic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*. 2024;403(10440):2057–2099. doi: 10.1016/S0140-6736(24)00550-6
2. Priya K, Setty M, Babu UV, Pai KSR. Implications of Environmental Toxicants on Ovarian Follicles: How it Can Adversely Affect the Female Fertility? *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(48):67925–67939. doi: 10.1007/s11356-021-16489-4 EDN: NGQQWI
3. Bezhenar VF, Kira EF, Tseliov YuV, et al. The Analysis of Complex Influence of the Adverse Ecological/ Professional Factors on Reproduction Health of the Women. *Journal of Obstetrics and Women's Diseases*. 2003;52(2):35–43. EDN: HUAPKR
4. Babanov SA, Strizhakov LA, Agarkova IA, et al. Workplace Factors and Reproductive Health: Causation and Occupational Risks Assessment. *Gynecology*. 2019;21(4):33–43. doi: 10.26442/20795696.2019.1.190227 EDN: ZIFUDA
5. Lawson CC, Schnorr TM, Daston GP, et al. An Occupational Reproductive Research Agenda for the Third Millennium. *Environmental Health Perspectives*. 2003;111(4):584–592. doi: 10.1289/ehp.5548
6. Panagopoulos P, Mavrogianni D, Christodoulaki C, et al. Effects of Endocrine Disrupting Compounds on Female Fertility. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*. 2023;88:102347. doi: 10.1016/j.bpobgyn.2023.102347 EDN: WRBHOL
7. Shulhai AM, Bianco V, Donini V, et al. Which is the Current Knowledge on Man-Made Endocrine- Disrupting Chemicals in Follicular Fluid? An Overview of Effects on Ovarian Function and Reproductive Health. *Frontiers in Endocrinology*. 2024;15:1435121. doi: 10.3389/fendo.2024.1435121 EDN: UIMRBD
8. Nikitin AI. Hormone-Like Pollutants of the Biosphere and Their Impact on Human Reproductive Function. *Biosfera*. 2009;1(2):218–229. EDN: QZOGHV
9. Peiris-John RJ, Wickremasinghe R. Impact of Low-Level Exposure to Organophosphates on Human Reproduction and Survival. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 2008;102(3):239–245. doi: 10.1016/j.trstmh.2007.11.012 EDN: MALOHF

10. World Health Organization. *Infertility Prevalence Estimates 1990–2021* [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023 [cited 2024 Dec 12]. ISBN: 978-92-4-006831-5 Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/366700/9789240068315-eng.pdf?sequence=1>
11. Mercuri ND, Cox BJ. The Need for More Research Into Reproductive Health and Disease. *eLife*. 2022;11:e75061. doi: 10.7554/eLife.75061 EDN: LLDWQC
12. Sakali AK, Bargiata A, Bjekic-Macut J, et al. Environmental Factors Affecting Female Fertility. *Endocrine*. 2024;86(1):58–69. doi: 10.1007/s12020-024-03940-y EDN: ZPJKNP
13. Chashchin VP, Gudkov AB, Popova ON, et al. Description of Main Health Deterioration Risk Factors for Population Living on Territories of Active Natural Management in the Arctic. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(1):3–12. EDN: RYIEQP
14. Dudarev AA, Odland JO. Human Health in Connection With Arctic Pollution – Results and Perspectives of International Studies Under the Aegis of AMAP. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2017;24(9):3–14. doi: 10.33396/1728-0869-2017-9-3-14 EDN: ZFVNJL
15. Talykova LV, Nikanov AN, Bykov VR. Demographic Situation and Professional Risk of Workers of Mining Industry of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2019;16(2):245–252. doi: 10.22138/2500-0918-2019-16-2-245-252 EDN: DHJVMQ
16. Yankovskaya GF. *Reproductive health of women of different age groups living in the Kola Arctic* [dissertation]. Petrozavodsk; 2009. EDN: NQMHWI
17. Belisheva NK. Comparative Analysis of Morbidity and Elemental Composition of Hair Among Children Living on Different Territories of the Kola North. In: *Conference proceedings of VI International Symposium "Biogenic – Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems" Lecture Notes in Earth System Sciences*. Cham: Springer; 2019. P. 803–827. doi: 10.1007/978-3-030-21614-6_43 EDN: EZHOKW
18. Pashkevich MA, Strizhenok AV. Analysis of the Landscape-Geochemical Situation in the Area of Location of the Tailings Facility ANOF-2 of JSC "APATIT". *Zapiski Gornogo instituta*. 2013;206:155–160. (In Russ.) EDN: SDBPMF
19. Makarov DV, Svetlov AV, Goryachev AA, et al. Ngs Dust Emissions Caused by the Climate Change: A Case-Study of a Mine in Russia's Far North. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2021; (5):122–133. doi: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_122 EDN: GKGLXI
20. Belisheva NK, Martynova AA, Korovkina AV. Physiological Status of Reproductive Age Girls Under Conditions of Technogenic Impact in the Kola North. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(12):889–900. doi: 10.17816/humeco109941 EDN: PSBSRQ
21. Harlow SD, Gass M, Hall JE, et al. Executive Summary of the Stages of Reproductive Aging Workshop + 10. *Menopause*. 2012;19(4):387–395. doi: 10.1097/gme.0b013e31824d8f40
22. Lerchbaum E, Schwetz V, Rabe T, et al. Hyperandrogenemia in Polycystic Ovary Syndrome: Exploration of the Role of Free Testosterone and Androstenedione in Metabolic Phenotype. *PLoS ONE*. 2014;9(10):e108263. doi: 10.1371/journal.pone.0108263
23. Unguryanu TN, Grijbovski AM. Brief Recommendations on Description, Analysis and Presentation of Data in Scientific Papers. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2011;5(5):55–60. EDN: NRDBMN
24. Ayala C, Steinberger E, Smith KD, et al. Serum Testosterone Levels And Reference Ranges In Reproductive-Age Women. *Endocrine Practice*. 1999;5(6):322–329. doi: 10.4158/EP.5.6.322
25. Laven JS, Mulders AG, Visser JA, et al. Anti-Müllerian Hormone Serum Concentrations in Normoovulatory and Anovulatory Women of Reproductive Age. *J Clin Endocrinol Metab*. 2004;89(1):318–323. doi: 10.1210/jc.2003-030932
26. Pigny P, Merlen E, Robert Y, et al. Elevated Serum Level of Anti-Müllerian Hormone in Patients with Polycystic Ovary Syndrome: Relationship to the Ovarian Follicle Excess and to the Follicular Arrest. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2003;88(12):5957–5962. doi: 10.1210/jc.2003-030727
27. La Marca A, Sighinolfi G, Radi D, et al. Anti-Müllerian hormone (AMH) as a predictive marker in assisted reproductive technology (ART). *Human Reproduction Update*. 2009;16(2):113–130. doi: 10.1093/humupd/dmp036
28. Kozłowski IF, Carneiro MC, Rosa VBD, Schuffner A. Correlation Between anti-Müllerian Hormone, Age, and Number of Oocytes: A Retrospective Study in a Brazilian *in vitro* Fertilization Center. *JBRA Assist Reprod*. 2022;26(2):214–221. doi: 10.5935/1518-0557.20210083
29. Mykytyuk MR, Khyzhnyak OO. Hyperandrogenism Syndrome: Diagnostics and Treatment From the Position of Clinical Endocrinology. *International Journal of Endocrinology*. 2021;16(8):662–668. doi: 10.22141/2224-0721.16.8.2020.222887 EDN: NRWKUY
30. Yashchuk AG, Maslennikov AV, Dautova LA, et al. The Role of Platelets in Female Reproductive Function. *Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist*. 2017;17(4):20–24. doi: 10.17116/rosakush201717420-24 EDN: ZEHBBL
31. Bódis J, Papp S, Vermes I, et al. "Platelet-Associated Regulatory System (PARS)" With Particular Reference to Female Reproduction. *Journal of Ovarian Research*. 2014;7(1):55. doi: 10.1186/1757-2215-7-55
32. Sova H, Unkila-Kallio L, Tiitinen A, et al. Hormone Profiling, Including anti-Müllerian Hormone (AMH), for the Diagnosis of Polycystic Ovary Syndrome (PCOS) and Characterization of PCOS Phenotypes. *Gynecol Endocrinol*. 2019;35(7):595–600. doi: 10.1080/09513590.2018.1559807
33. Chebotareva YY, Letifov HM, Gorban EG, Kostoeva ZA. Some Features of Hormonal Profile in Adolescent Girls with Urinary Tract Infections. *Nephrology (Saint-Petersburg)*. 2019;23(3):54–58. doi: 10.24884/1561-6274-2019-23-3-54-58 EDN: HTNROV
34. Shah D, Jirge PR. Anti-Müllerian Hormone and Fertility Treatment Decisions in Polycystic Ovary Syndrome: A Literature Review. *Journal of Human Reproductive Sciences*. 2024;17(1):16–24. doi: 10.4103/jhrs.jhrs_153_23 EDN: KSQXVD
35. Vdovenko IA, Setko NP, Konstantinova OD. Ecological Problems of Reproductive Health. *Hygiene and Sanitation, Russian Journal*. 2013;92(4):24–28. EDN: PLTDXY
36. Ailamazyan EK, Beljaeva TV. General and Particular Problems of Ecological Reproduction. *Journal of Obstetrics and Women's Diseases*. 2003;52(2):4–10. EDN: HUAPJD
37. *Mining and Metallurgical Company Norilsk Nickel (impact on the environment and human health)* [Internet]. Association report Bellona; 2010 [cited 2019 Dec 09]. (In Russ.) Available from: https://bellona.org/assets/sites/4/fil_nikel-report-bellona-2010-ru.pdf
38. Belisheva N, Martynova A, Mikhaylov R. An Interdisciplinary Approach to Predicting the Effects of Transboundary Atmospheric Transport to Northwest European Neighboring States. *KnE Social Sciences*. 2022;7(3):158–171. doi: 10.18502/kss.v7i3.10450 EDN: PGKOHZ
39. Gurev AA. Sustainable Development of Crude Ore Resources and Beneficiation Facilities of JSC "Apatit" Based on Best Engineering Solutions. *Journal of Mining Institute*. 2017;228:662–673. doi: 10.25515/PMI.2017.6.662 EDN: YQCXHU
40. Amosov PV, Baklanov AA, Goryachev AA, et al. *Dusting of Apatite-Nepheline Ores Enrichment Tailings: An Environmental Problem and Pathways to Solve it*. Apatity: Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 2023. doi: 10.37614/978.5.91137.505.8 EDN: GOQMPA
41. Belisheva NK, Drogobuzhskaya SV. Rare Earth Element Content in Hair Samples of Children Living in the Vicinity of the Kola Peninsula Mining Site and Nervous System Diseases. *Biology*. 2024;13(8):626. doi: 10.3390/biology13080626 EDN: SRSKNM
42. Minghui F, Ran S, Yuxue J, Minjia S. Toxic Effects of Titanium Dioxide Nanoparticles on Reproduction in Mammals. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2023;11:1183592. doi: 10.3389/fbioe.2023.1183592 EDN: UHPHKY

43. Cornu R, Béduneau A, Martin H. Ingestion of Titanium Dioxide Nanoparticles: A Definite Health Risk for Consumers and Their Progeny. *Archives of Toxicology*. 2022;96(10):2655–2686. doi: 10.1007/s00204-022-03334-x EDN: QVSXDT
44. Hong F, Wang L. Nanosized Titanium Dioxide-Induced Premature Ovarian Failure is Associated With Abnormalities in Serum Parameters in Female Mice. *International Journal of Nanomedicine*. 2018;13: 2543–2549. doi: 10.2147/IJN.S151215
45. Sirotkin AV, Bauer M, Kadasi A, et al. The Toxic Influence of Silver and Titanium Dioxide Nanoparticles on Cultured Ovarian Granulosa Cells. *Reproductive Biology*. 2021;21(1):100467. doi: 10.1016/j.repbio.2020.100467 EDN: TRHVBO
46. Kolesnikova TN. Premature Extinction of Reproductive Function as a Manifestation of Environmental Maladaptation. In: *Republican collection of scientific papers "The role of environmental and industrial factors in the formation of pathology of the female reproductive function"*. Moscow: Moscow Regional Research Institute of Obstetrics and Gynecology; 1992. P. 68–70. EDN: FEVUHD

ОБ АВТОРАХ

* **Белишева Наталья Константиновна**, д-р биол. наук;
адрес: Россия, 184209, Апатиты, Академгородок, д. 41а;
ORCID: 0000-0002-5504-2983;
eLibrary SPIN: 8833-5720;
e-mail: natalybelisheva@mail.ru

Мартынова Алла Александровна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-0701-8698;
eLibrary SPIN: 7211-3236;
e-mail: a.martynova@ksc.ru

Григорьева Элина Игоревна;
ORCID: 0000-0003-3580-1126;
eLibrary SPIN: 1233-4923;
e-mail: elinamart@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Natalia K. Belisheva**, Dr. Sci. (Biology);
address: 41a Akademgorodok, Apatity, Russia, 184209;
ORCID: 0000-0002-5504-2983;
eLibrary SPIN: 8833-5720;
e-mail: natalybelisheva@mail.ru

Alla A. Martynova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0002-0701-8698;
eLibrary SPIN: 7211-3236;
e-mail: a.martynova@ksc.ru

Elina I. Grigorieva;
ORCID: 0000-0003-3580-1126;
eLibrary SPIN: 1233-4923;
e-mail: elinamart@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco688310>

EDN: JJZYHV

Элементный состав волос детей как индикатор техногенно изменённых территорий Восточного Забайкалья

Л.А. Михайлова, Е.А. Бондаревич, Н.Н. Коцюржинская, Н.В. Соловьёва,
Г.Ю. Самойленко, О.А. Лескова, Б.В. Нимаева

Читинская государственная медицинская академия, Чита, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Для Забайкальского края характерны избыток, недостаток и (или) неблагоприятное соотношение многих макро- и микроэлементов в объектах окружающей среды, обусловленные геохимическими особенностями региона, что оказывает непосредственное влияние на элементный статус организма человека и приводит к развитию патологических состояний.

Цель исследования. Изучение особенностей элементного статуса детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки.

Методы. Проведено одномоментное исследование. Критерии включения: дети и подростки 6–14 лет, постоянно проживающие на исследуемой территории с момента рождения; отсутствие приёма витаминно-минеральных комплексов и лекарственных препаратов; натуральное состояние волос. В зависимости от наличия объектов накопленного вреда окружающей среде вблизи населённых пунктов выделены две группы: 1-я группа — дети и подростки, проживающие в населённых пунктах без таких объектов; 2-я группа — дети и подростки, проживающие рядом с хвостохранилищами и отвалами забалансовых руд. С целью оценки особенностей элементного статуса проведён анализ химического состава волос методом рентгено-флуоресцентного полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox.

Результаты. В исследовании приняли участие 148 детей и подростков, проживающих на территории Забайкальского края. В биосубстрате детей 1-й группы ($n=97$), проживающих в населённых пунктах, для которых характерно наличие значительного количества объектов теплоэнергетики, железнодорожной инфраструктуры, промышленных предприятий, автотранспорта, выявлена статистически значимо высокая концентрация большинства эссенциальных, условно-эссенциальных и токсичных химических элементов в сравнении с биосубстратом детей 2-й группы ($n=51$), проживающих в населённых пунктах, характеризующихся близким расположением хвостохранилищ ($p < 0,001$). Установлено статистически значимое повышенное содержание цинка и свинца и низкое — эссенциальных элементов (селена, йода, кобальта) в волосах детей 2-й группы в сравнении с 1-й группой. Проведённый анализ корреляционной зависимости между количественным содержанием различных химических элементов в биосубстрате выявил наличие обширных взаимосвязей, отражающих влияние как геологических формаций, так и техногенного прессинга на территориях проживания участников исследования.

Заключение. Изучение содержания и соотношения макро- и микроэлементов в волосах позволяет оценить геохимические особенности территорий с различной природно-техногенной обстановкой и разработать мероприятия по профилактике нарушений элементного статуса населения.

Ключевые слова: элементный статус; горнорудная промышленность; геохимические аномалии.

Как цитировать:

Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Соловьёва Н.В., Самойленко Г.Ю., Лескова О.А., Нимаева Б.В. Элементный состав волос детей как индикатор техногенно изменённых территорий Восточного Забайкалья // Экология человека. 2025. Т. 32, № 8. С. 585–597.

DOI: 10.17816/humeco688310 EDN: JJZYHV

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco688310>

EDN: JJZYHV

Elemental Composition of Children's Hair as an Indicator of Technogenically Altered Territories in Eastern Transbaikalia

Larisa A. Mikhailova, Evgeniy A. Bondarevich, Natalia N. Kotsurzhinskaya, Natalia V. Solovjeva, Galina Yu. Samoilenko, Olga A. Leskova, Baljit V. Nimaeva

Chita State Medical Academy, Chita, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The Transbaikalian Territory is characterized by an excess, deficiency, and/or unfavorable ratios of numerous macro- and microelements in environmental objects, determined by the region's geochemical features. These factors directly affect the elemental status of the human body and contribute to the development of pathological conditions.

AIM: The work aimed to investigate the characteristics of the elemental status of children and adolescents living in areas with varying levels of anthropogenic load.

METHODS: It was a cross-sectional study. Inclusion criteria: children and adolescents aged 6–14 years, permanently residing in the study area since birth; no intake of vitamin–mineral complexes or medications; natural hair condition. Two groups were identified depending on the presence of sites of accumulated environmental damage near settlements: group 1 included children and adolescents residing in settlements without such sites; group 2 included children and adolescents living near tailing ponds and mine waste dumps. To assess the characteristics of elemental status, the chemical composition of hair was analyzed using total reflection X-ray fluorescence on an S2 Picofox spectrometer.

RESULTS: The study included 148 children and adolescents residing in the Transbaikalian Territory. Statistically significantly higher concentrations of most essential, conditionally essential, and toxic chemical elements were found in the biosubstrate of group 1 ($n=97$), living in settlements characterized by a significant number of thermal power facilities, railway infrastructure, industrial enterprises, and motor vehicles, compared with group 2 ($n=51$), residing in settlements located in close proximity to tailing ponds ($p < 0.001$). Statistically significantly elevated levels of zinc and lead and decreased levels of essential elements (selenium, iodine, cobalt) were observed in the hair of group 2 compared with group 1. Correlation analysis of the quantitative content of different chemical elements in the biosubstrate revealed extensive interrelationships, reflecting the influence of both geological formations and anthropogenic pressure in the residential areas of study participants.

CONCLUSION: The assessment of macro- and microelement content and ratios in hair provides an opportunity to evaluate the geochemical characteristics of territories with different natural and technogenic conditions and to develop preventive measures to avoid disturbances in the elemental status of the population.

Keywords: elemental status; mining industry; geochemical anomalies.

To cite this article:

Mikhailova LA, Bondarevich EA, Kotsurzhinskaya NN, Solovjeva NV, Samoilenko GYu, Leskova OA, Nimaeva BV. Elemental Composition of Children's Hair as an Indicator of Technogenically Altered Territories in Eastern Transbaikalia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):585–597.

DOI: 10.17816/humeco688310 EDN: JJZYHV

Submitted: 28.07.2025

Accepted: 14.08.2025

Published online: 27.08.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco688310>

EDN: JJZYHV

儿童头发元素组成作为Eastern Transbaikalia受人为活动影响地区的指示剂

Larisa A. Mikhailova, Evgeniy A. Bondarevich, Natalia N. Kotsurzhinskaya, Natalia V. Solovjeva, Galina Yu. Samoilenko, Olga A. Leskova, Baljit V. Nimaeva

Chita State Medical Academy, Chita, Russia

摘要

论证: Trans-Baikal Territory具有明显的地球化学特征，导致多种宏量和微量元素的过剩、缺乏和/或比例失衡，这直接影响人体的元素状态，并可能引发病理性改变。

目的: 研究居住在不同人为负荷水平地区的儿童和青少年的元素状态特征。

方法: 开展横断面研究。纳入标准：6 - 14岁儿童和青少年，自出生以来持续居住在研究地区；未服用维生素-矿物质复合物和药物；头发处于自然状态。根据居民点附近是否存在环境累积性损害源，将受试者分为两组：第1组——居住在无此类损害源居民点的儿童和青少年；第2组——居住在邻近尾矿库和贫矿堆的儿童和青少年。采用S2 Picofox荧光全反射X射线光谱仪分析头发化学成分，以评估元素状态特征。

结果: 共纳入148名Trans-Baikal Territory儿童和青少年。在第1组儿童和青少年的生物基质中（ $n=97$ ），其居住的居民点具有显著特征，即存在大量热能设施、铁路基础设施、工业企业和机动车，与第2组儿童和青少年的生物基质（ $n=51$ ）相比，后者居住在以尾矿库邻近分布为特征居民点的第1组中大多数必需、条件必需及有毒化学元素的浓度均显著升高（ $p < 0.001$ ）。在第2组儿童的头发中，与第1组相比，锌和铅的含量统计学上显著升高，而必需元素（硒、碘、钴）的含量则显著降低。所进行的相关性分析表明，在生物基质中，不同化学元素的数量含量之间存在广泛的相关关系，这些关系反映了地质地层建造以及人为活动压力对受试者居住地区的共同影响。

结论: 通过分析儿童头发中的宏量与微量元素含量及其比例，可以评估不同自然-人为环境下地区的地球化学特征，并为制定预防人群元素状态失衡的措施提供科学依据。

关键词: 元素状态；矿业；地球化学异常。

引用本文:

Mikhailova LA, Bondarevich EA, Kotsurzhinskaya NN, Solovjeva NV, Samoilenko GYu, Leskova OA, Nimaeva BV. 儿童头发元素组成作为Eastern Transbaikalia受人为活动影响地区的指示剂. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):585–597. DOI: 10.17816/humeco688310 EDN: JJZYHV

收到: 28.07.2025

接受: 14.08.2025

发布日期: 27.08.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Изучение закономерностей распределения химических элементов в биосфере, условий и особенностей формирования биогеохимических провинций природного или техногенного происхождения и их влияния на состояние здоровья является актуальной и фундаментальной задачей, решение которой позволит разработать эффективные медико-профилактические мероприятия по минимизации рисков здоровью населения. Оптимальное сбалансированное содержание химических элементов в живом организме обуславливает нормальное его функционирование, при этом отклонение концентраций химических веществ от физиологических норм приводит к формированию патологических состояний у человека [1, 2].

В пределах Забайкальского края сосредоточено большое количество месторождений полезных ископаемых, интенсивная добыча которых на протяжении более чем трёхсот лет привела к образованию значительных объёмов токсичных твёрдых отходов, сформированных отвалами бедных и некондиционных руд, хвостами флотационного и гравитационного обогащения, продуктами химической переработки руд цветных металлов. На территории региона располагается более 80 хвостохранилищ обогатительных фабрик, большая часть которых находится вблизи населённых пунктов. Хвосты обогащения представляют мелкоизмельчённый и тонкодисперсный материал, который содержит в значительных количествах химические элементы 1-го и 2-го классов опасности (мышьяк, кадмий, свинец, цинк, никель, молибден, медь и др.), что определяет высокий техногенный прессинг на окружающую среду, характеризующийся загрязнением поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха и почвы [3, 4].

В юго-восточных районах Забайкальского края, расположенных на сравнительно небольшой по площади территории уран-золотополиметаллического рудного пояса в междуречье Газимура и Аргуни, являющегося одним из самых старых горнорудных районов России, разведано около 500 полиметаллических месторождений, отработку которых проводили подземным способом на протяжении более трёхсот лет.

В Приаргунском районе добычу свинцово-цинковых руд начали в XVIII–XIX вв., за данный период добыли 66 416 тыс. т руды. Промышленную добычу возобновили в 1955 году и продолжили до 1994 года, что привело к формированию хвостохранилища отходов переработки руд общей площадью около 50 га и массой 4,4 млн т, расположенного на расстоянии 3-х км к юго-западу от п. Кличка. В Нерчинско-Заводском районе на протяжении длительного времени вели разработку месторождений свинцово-цинковых руд. В 1953–1994 гг. функционировала Благодатская обогатительная фабрика, перерабатывавшая руды Старо-Зерентуйского серебросвинцового, Средне-Зерентуйского и Октябрьского полиметаллических

месторождений, отходы производства которых общей массой 2,02 млн т складированы в хвостохранилище площадью 37 га, расположенном вблизи пгт. Нерчинский Завод. В Калганском районе к освоению полиметаллических месторождений приступили в 1757 году, промышленную разработку начали в послевоенные годы, Кадаинский рудник функционировал на протяжении более сорока лет (1951–1993 гг.). Хвостохранилище Кадаинской обогатительной фабрики расположено на расстоянии более 3-х км от населённого пункта, его площадь составляет 61,0 га, общая масса загрязнений 2,27 млн т. На территории Борзинского района находится Шерловгорский горнопромышленный узел, который включает олово-вольфрам-висмут-бериллиевое и оловополиметаллическое месторождения. Производственная деятельность привела к формированию хвостохранилища объёмом 24,3 млн т отходов флотационного процесса обогащения руд, отвалов бедных руд и вскрышных пород — 10,2 и 191,7 млн т соответственно, площадь хвостохранилища составляет 80,0 га, отвалов вскрышных пород и бедных руд — 210,0 и 53,0 га соответственно. Горнорудные предприятия закрыли в связи с отработкой запасов месторождений. Таким образом, выбранные территории сходны по геологическим особенностям, обусловленным наличием месторождений полиметаллических руд и объектов накопленного экологического вреда окружающей среде. Высвобождение и миграция химических элементов из хвостохранилищ приводит к их широкому распространению и последующему накоплению в объектах окружающей среды, при этом они могут быстро изменять свою химическую форму при переходе из одной среды в другую, вмешиваться в метаболические циклы и накапливаться в организме человека [5–7].

В исследование также включены населённые пункты (Чита, Нерчинск, Хилок, Шилка), вблизи которых не проводили добычу и переработку полиметаллических руд. Данная группа характеризуется наличием значительного количества объектов теплоэнергетики, железнодорожной инфраструктуры, промышленных предприятий, зарегистрирован высокий удельный вес автотранспорта.

Элементный состав волос человека зависит от большого числа факторов: возраста, пола, характера питания, массы тела, цвета волос, наличия профессиональных вредностей, состояния здоровья, синергизма и антагонизма элементов в организме, места проживания и эколого-геохимической обстановки территорий. Преимуществами волос как биосубстрата для исследований являются неинвазивность, простота подготовки для анализа и отсутствие специальных условий для хранения [8–10].

Волосы благодаря способности концентрировать химические элементы, находящиеся в различных компонентах среды обитания, являются удобным биомаркёром при изучении элементного гомеостаза населения в условиях воздействия неблагоприятных экологических факторов, что позволяет выявлять патологические изменения

в организме на ранних стадиях, включая донозологический период [11–13].

Учитывая вышесказанное и исходя из актуальности изучения элементного статуса населения горнопромышленных территорий для разработки эффективных профилактических мероприятий и управленческих решений, мы определили необходимость настоящей работы.

Цель

Изучение особенностей элементного статуса детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено одномоментное исследование.

Условия проведения исследования

Исследование проведено в период с 2018 по 2022 год на базе Читинской государственной медицинской академии.

Критерии соответствия (отбора)

Критерии включения:

- возраст от 6 до 14 лет;
- постоянное проживание на исследуемой территории с момента рождения;
- отсутствие приёма витаминно-минеральных комплексов и лекарственных препаратов;
- натуральное состояние волос.

Критерии исключения:

- возраст младше 6 и старше 14 лет;
- проживание в других регионах.

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

Элементный статус детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки.

Дополнительные показатели исследования

Определение корреляционных взаимосвязей между химическими элементами биосубстрата детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки.

Анализ в группах

В зависимости от наличия объектов накопленного вреда окружающей среде вблизи населённых пунктов сформировано две группы:

- 1-я группа — дети и подростки, проживающие в населённых пунктах, где отсутствуют данные объёмы;

- 2-я группа — дети и подростки, проживающие в населённых пунктах, для которых характерно близкое расположение хвостохранилищ и отвалов забалансовых руд.

Методы измерения целевых показателей

Для оценки элементного гомеостаза детей и подростков проанализировали химический состав волос методом рентгено-флуоресцентного полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox® (Bruker Nano GmbH, Германия) в соответствии с методическими рекомендациями. Для проведения анализа волосы состригали в 4–5 местах на затылке, ближе к шее в количестве 0,1–0,5 г, далее проводили обработку ацетоном и промывали деионизированной водой. Затем волосы сушили в течение 15 мин при комнатной температуре, пробы волос хранили в отдельных бумажных конвертах в сухом месте. Их отбор и хранение проводили в соответствии с действующими нормативными документами. Пробы волос взвешивали на аналитических весах и навески массой 50,0–100,0 мг подвергали мокрому озолению. Для озоления проб их переносили в кварцевые стаканчики, приливали по 1000,0 мкл концентрированной азотной кислоты и добавляли по 100,0 мкл 30% раствора пероксида водорода, после пробы выдерживали до полного испарения жидкости в сухожаровом шкафу и прокаливали в муфельной печи при 500 °C в течение 2-х ч. Полученные сухие осадки растворяли в сверхчистой воде и к аликвоте¹ добавляли внутренний стандарт (соль германия с концентрацией 2,50 мг/дм³). Наносили 10,0 мкл пробы на кварцевый прободержатель, а после высушивали. Определяли содержание 35 химических элементов (Na, Mg, Al, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, W, Pb, Th, U). После снятия спектров содержания элементов в пробе они подвергались обработке в программе Spectra ver. 7.8.2.0.

Этическая экспертиза

Этические принципы исследования соответствовали принципам Хельсинской декларации 1975 года (в пересмотре 1983 года, позднейшие редакции 1996–2013 гг.). Для проведения исследования получено разрешение локального этического комитета при ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России (выписка из протокола заседания № 95 от 25.06.2019). Все законные представители участников исследования подписали форму информированного добровольно согласия до включения в исследование.

¹ Аликвота — точно измеренная доляная часть образца (объёма раствора), взятая для анализа, которая сохраняет свойства основного образца.

Статистические процедуры

Запланированный размер выборки

Размер выборки предварительно не рассчитывали.

Статистические методы

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью пакета программ IBM SPSS Statistics® Version 25.0 (International Business Machines Corporation, Соединённые Штаты Америки). Учитывая значения критерия Шапиро–Уилка, количественные данные представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно. Для их сравнения между группами исследования применяли критерий Краскела–Уоллиса, статистически значимыми считали различия при $p < 0,001$. Для оценки связи между количественными показателями использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристики выборки

В исследовании приняли участие 148 детей и подростков, проживающих на территории Забайкальского края. В 1-ю группу включены дети и подростки, проживающие в Нерчинске, Чите и Шилке, а также в пгт. Хилок, где отсутствуют объекты накопленного вреда окружающей среды ($n=97$). Во 2-ю группу вошли дети и подростки, проживающие в пгт. Кличка, Нерчинский Завод и Калга, а также Борзе, для которых характерно

близкое расположение хвостохранилищ и отвалов забалансовых руд ($n=51$).

Основные результаты исследования

При анализе полученных результатов содержания химических элементов в биосубстрате у детей и подростков, проживающих на исследуемых территориях, установлены определённые статистически значимые различия элементного состава волос.

В табл. 1 приведены данные о содержании эссенциальных химических элементов в волосах детей и подростков, проживающих на изучаемых территориях.

Выявлено, что в 1-й группе в волосах детей отмечена статистически значимо высокая концентрация большинства эссенциальных химических элементов в сравнении со 2-й группой. Содержание натрия выше значений 2-й группы в 2,4 раза, магния — в 4,5 раза, хлора — в 15,6 раза, кобальта — в 4,3 раза, селена — в 7,5 раза и йода — в 3,4 раза ($p < 0,001$). Обращает на себя внимание статистически значимое повышенное содержание цинка, фосфора, кальция, железа в волосах детей 2-й группы. Концентрация железа в 2,9 раза выше значений 1-й группы, фосфора — в 2,3 раза, кальция — в 2,8 раза, цинка — в 6,7 раза ($p < 0,001$). При этом не выявлено статистически значимых различий между группами по содержанию в волосах таких элементов как сера, калий, хром, марганец, медь.

В табл. 2 приведены данные о содержании условно-эссенциальных и токсичных химических элементов в волосах детей и подростков, проживающих на исследуемых территориях.

Таблица 1. Содержание эссенциальных химических элементов в волосах детей и подростков

Table 1. Content of essential chemical elements in the hair of children and adolescents

Химический элемент	1-я группа, $n=97$	2-я группа, $n=51$	Тестовая статистика
Натрий (Na), мг/кг	4023,7 [2647,7; 10 211,2]	1673,7 [1002,8; 2812,1]	$U=984,0; p < 0,001$
Магний (Mg), мг/кг	323,6 [231,4; 1305,6]	71,7 [51,8; 158,5]	$U=553; p < 0,001$
Фосфор (P), мг/кг	56,8 [31,2; 141,9]	132,7 [80,1; 218,7]	$U=1478; p < 0,001$
Сера (S), мг/кг	2860,1 [1960,4; 3987,4]	2727,9 [1533,8; 11 311,7]	$U=2180; p=0,236$
Хлор (Cl), мг/кг	39,6 [14,9; 93,4]	2,5 [1,3; 4,4]	$U=436,5; p < 0,001$
Калий (K), мг/кг	46,3 [21,7; 115,7]	67,0 [42,2; 174,4]	$U=1728; p=0,003$
Кальций (Ca), мг/кг	238,0 [98,3; 602,3]	674,1 [436,0; 1105,0]	$U=1090; p < 0,001$
Хром (Cr), мг/кг	1,5 [0,6; 3,4]	1,5 [0,9; 2,4]	$U=2345; p=0,604$
Марганец (Mn), мг/кг	1,3 [0,5; 2,7]	1,4 [1,0; 2,2]	$U=1986; p=0,049$
Железо (Fe), мг/кг	17,5 [8,6; 44,7]	50,5 [38,2; 95,9]	$U=1004; p < 0,001$
Кобальт (Co), мг/кг	0,3 [0,2; 0,8]	0,07 [0,05; 0,13]	$U=576; p < 0,001$
Медь (Cu), мг/кг	1,9 [1,1; 4,6]	2,2 [0,9; 4,0]	$U=2468; p=0,982$
Цинк (Zn), мг/кг	16,5 [11,2; 30,0]	111,2 [83,9; 188,7]	$U=304; p < 0,001$
Селен (Se), мг/кг	0,15 [0,07; 0,46]	0,02 [0,02; 0,05]	$U=481; p < 0,001$
Йод (I), мг/кг	3,1 [2,2; 10,1]	0,9 [0,7; 1,7]	$U=664; p < 0,001$

Примечание. Данные представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно.

Таблица 2. Содержание условно-эссенциальных и токсичных химических элементов в волосах детей и подростков**Table 2.** Content of conditionally essential and toxic chemical elements in the hair of children and adolescents

Химический элемент	1-я группа, n=97	2-я группа, n=51	Тестовая статистика
Алюминий (Al), мг/кг	719,3 [420,1; 2266,6]	51,1 [26,3; 71,0]	U=356; $p < 0,001$
Скандий (Sc), мг/кг	1,2 [0,8; 3,8]	0,26 [0,21; 0,54]	U=546,5; $p < 0,001$
Титан (Ti), мг/кг	1,4 [0,7; 4,5]	1,7 [0,9; 3,2]	U=2210; $p=0,288$
Ванадий (V), мг/кг	0,7 [0,5; 2,3]	0,15 [0,11; 0,32]	U=531; $p < 0,001$
Никель (Ni), мг/кг	0,3 [0,2; 0,9]	0,67 [0,46; 1,02]	U=1522,5; $p < 0,001$
Галлий (Ga), мг/кг	0,15 [0,1; 0,42]	0,03 [0,03; 0,07]	U=593; $p < 0,001$
Мышьяк (As), мг/кг	0,20 [0,09; 0,42]	0,22 [0,1; 0,32]	U=2369,5; $p=0,675$
Бром (Br), мг/кг	0,14 [0,08; 0,31]	0,03 [0,02; 0,05]	U=681; $p < 0,001$
Рубидий (Rb), мг/кг	0,15 [0,10; 0,45]	0,03 [0,02; 0,07]	U=771; $p < 0,001$
Стронций (Sr), мг/кг	1,25 [0,43; 4,02]	3,1 [2,0; 0,4]	U=1369; $p < 0,001$
Олово (Sn), мг/кг	5,2 [3,8; 16,6]	1,7 [1,3; 3,1]	U=747,5; $p < 0,001$
Сурьма (Sb), мг/кг	8,8 [4,6; 26,4]	0,8 [0,6; 1,5]	U=372,5; $p < 0,001$
Цезий (Cs), мг/кг	3,7 [2,6; 12,2]	0,5 [0,4; 0,9]	U=413,5; $p < 0,001$
Барий (Ba), мг/кг	2,4 [1,7; 7,7]	0,5 [0,4; 0,9]	U=674,5; $p < 0,001$
Лантан (La), мг/кг	2,3 [1,6; 3,3]	0,3 [0,25; 0,71]	U=424,5; $p < 0,001$
Церий (Ce), мг/кг	1,6 [1,1; 5,1]	0,28 [0,21; 0,59]	U=462; $p < 0,001$
Вольфрам (W), мг/кг	1,3 [0,9; 4,6]	0,05 [0,04; 0,11]	U=270; $p < 0,001$
Свинец (Pb), мг/кг	0,3 [0,16; 0,85]	1,5 [0,9; 2,3]	U=685,5; $p < 0,001$
Торий (Th), мг/кг	0,16 [0,11; 0,5]	0,04 [0,03; 0,09]	U=696; $p < 0,001$
Уран (U), мг/кг	0,24 [0,13; 0,63]	0,06 [0,04; 0,13]	U=1015,5; $p < 0,001$

Примечание. Данные представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно.

В волосах детей 1-й группы установлена статистически значимо высокая концентрация большинства условно-эссенциальных и токсичных макро- и микроэлементов (алюминий, скандий, ванадий, галлий, бром, рубидий, олово, сурьма, цезий, барий, лантан, церий, вольфрам, торий, уран) в сравнении с биосубстратом детей 2-й группы. Выявлено статистически значимое повышенное содержание свинца, никеля и стронция в волосах детей 2-й группы. Концентрация стронция в 2,5 раза выше аналогичных значений 1-й группы, свинца — в 5 раз, никеля — в 2,2 раза ($p < 0,001$). По содержанию в волосах таких элементов как титан и мышьяк статистически значимых различий между двумя группами не обнаружено.

Дополнительные результаты исследования

В связи с тем, что концентрация макро- и микроэлементов в организме зависит не только от их количества при поступлении, но и от ассоциаций и сочетаний с другими элементами, мы провели корреляционный анализ, который показал наличие значимых прямых корреляционных связей между некоторыми химическими элементами. На рис. 1 представлены корреляции содержаний

химических элементов в волосах детей и подростков 1-й и 2-й групп (см. рис. 1, *a* и *b* соответственно).

Определено наличие кластеров химических элементов с весьма высокой и высокой силой положительной связи. Для цинка в 1-й группе установлена высокая сила статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи со следующими элементами: серой ($r_s=0,71$), железом ($r_s=0,70$), кальцием ($r_s=0,72$), во 2-й группе подобной закономерности не выявлено. Анализ корреляционных связей свинца показал наличие весьма высокой и высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи с кальцием ($r_s=0,83$), калием ($r_s=0,76$), титаном ($r_s=0,93$), хромом ($r_s=0,78$), марганцем ($r_s=0,81$), железом ($r_s=0,82$), никелем ($r_s=0,88$), мышьяком ($r_s=0,79$), бромом ($r_s=0,79$), рубидием ($r_s=0,74$). Во 2-й группе такого взаимодействия не отмечено. При анализе корреляционных связей между мышьяком и другими химическими элементами в 1-й группе установлено наличие высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи с некоторыми эссенциальными элементами: натрием ($r_s=0,79$), магнием ($r_s=0,79$), кобальтом ($r_s=0,80$), йодом ($r_s=0,81$), фосфором ($r_s=0,73$). Для остальных эссенциальных элементов характерно наличие заметной силы с хлором ($r_s=0,62$),

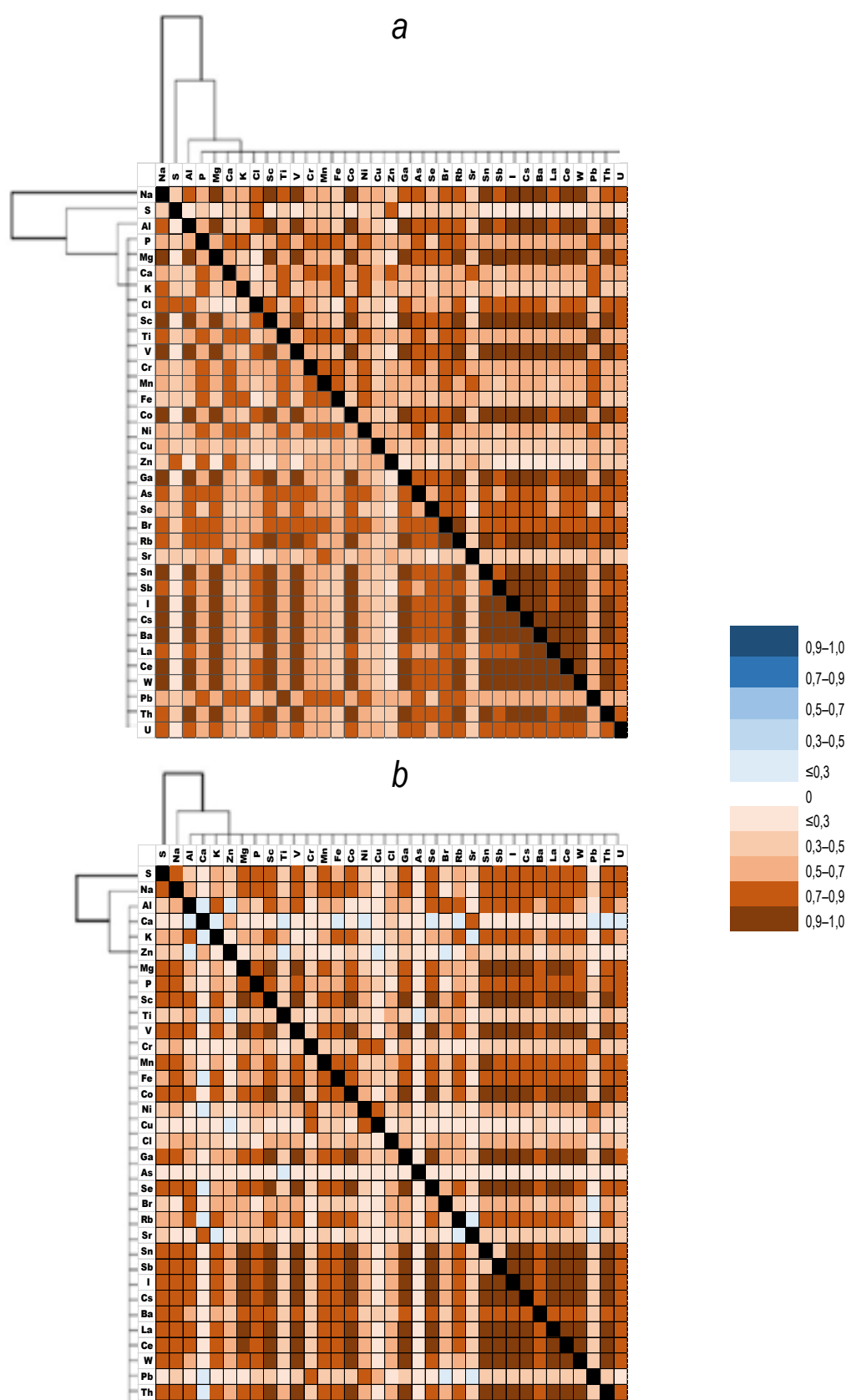


Рис. 1. Корреляции содержания химических элементов в волосах детей и подростков: *a* — 1-я группа; *b* — 2-я группа. Цветами обозначен характер связи: оттенки синего цвета — отрицательная корреляция; оттенки коричневого цвета — положительная корреляция. Интенсивность цвета отражает силу связи между параметрами.

Fig. 1. Correlations of chemical element content in the hair of children and adolescents: *a*, group 1; *b*, group 2. The colors indicate the type of correlation: shades of blue represent negative correlation; shades of brown represent positive correlation. The intensity of color reflects the strength of the correlation between parameters.

калием ($r_s=0,59$), кальцием ($r_s=0,65$), марганцем ($r_s=0,69$), железом ($r_s=0,63$), медью ($r_s=0,54$), селеном ($r_s=0,66$), умеренной силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи с серой ($r_s=0,31$) и цинком ($r_s=0,45$). Обращает на себя внимание существование высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи с большинством токсичных и условно-эссенциальных элементов: алюминием ($r_s=0,75$), скандием ($r_s=0,79$), титаном ($r_s=0,78$), ванадием ($r_s=0,79$), хромом ($r_s=0,73$), никелем ($r_s=0,70$), гафнием ($r_s=0,71$), бромом ($r_s=0,89$), рубидием ($r_s=0,85$), оловом ($r_s=0,82$), цезием ($r_s=0,78$), барием ($r_s=0,80$), церием ($r_s=0,79$), вольфрамом ($r_s=0,77$), свинцом ($r_s=0,79$), торием ($r_s=0,80$), ураном ($r_s=0,76$). Заметная связь установлена с лантаном ($r_s=0,68$) и сурьмой ($r_s=0,67$).

Во 2-й группе характерно преобладание слабой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи концентрации мышьяка с некоторыми эссенциальными элементами: хлором ($r_s=0,24$), калием ($r_s=0,12$), марганцем ($r_s=0,19$), железом ($r_s=0,13$), кобальтом ($r_s=0,23$), медью ($r_s=0,09$), за исключением цинка, для которого установлена высокая сила положительной связи ($r_s=0,92$). Для условно-эссенциальных и токсичных элементов характерно наличие умеренной и слабой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи: алюминием ($r_s=0,44$), скандием ($r_s=0,31$), ванадием ($r_s=0,24$), хромом ($r_s=0,16$), никелем ($r_s=0,38$), оловом ($r_s=0,42$), церием ($r_s=0,79$), свинцом ($r_s=0,39$), торием ($r_s=0,43$), ураном ($r_s=0,43$).

При анализе корреляционных связей группы химических элементов железа (Fe, Mn, Cr, Ni, Co) в 1-й группе установлено наличие высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи между железом и марганцем ($r_s=0,76$), хромом ($r_s=0,71$), никелем ($r_s=0,81$); никелем и хромом ($r_s=0,78$), марганцем ($r_s=0,84$); хромом и марганцем ($r_s=0,73$); заметной — между кобальтом и хромом ($r_s=0,63$), марганцем ($r_s=0,57$), никелем ($r_s=0,57$); умеренной — между железом и кобальтом ($r_s=0,45$). Во 2-й группе наличие высокой силы статистически значимой ($p < 0,01$) положительной связи выявлено между железом и марганцем ($r_s=0,84$), кобальтом ($r_s=0,82$); кобальтом и марганцем ($r_s=0,80$); никелем и хромом ($r_s=0,85$); заметной — между железом и хромом ($r_s=0,55$), никелем ($r_s=0,62$); кобальтом и никелем ($r_s=0,55$); умеренной — между кобальтом и хромом ($r_s=0,47$); никелем и марганцем ($r_s=0,49$); хромом и марганцем ($r_s=0,41$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме результатов исследования

Исследование элементного статуса детей и подростков, проживающих на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки, выявило существенные различия в содержании химических элементов в биосубстрате.

Интерпретация результатов исследования

Проведённая сравнительная характеристика накопления химических элементов в волосах детей показала, что для 1-й группы характерно повышенное содержание большинства условно-эссенциальных и токсичных элементов, таких как алюминий, ванадий, сурьма, олово, цезий, торий, уран, в то же время отмечено накопление эссенциальных элементов — натрия, магния, хлора, кобальта, селена и йода по сравнению со 2-й группой. Для волос характерен комбинированный путь поступления элементов в их состав, в том числе обусловленный пылеарозольными включениями. Среди техногенных источников поступления вышеперечисленных элементов у детей 1-й группы наибольшее значение имеют промышленные предприятия, а также теплоэлектроцентрали и государственные районные электростанции, работающие на угле, расположенные в населённых пунктах их проживания. При сжигании угля в атмосферный воздух поступает значительное количество химических элементов, которые в виде пыли попадают в организм человека, что и обуславливает их присутствие в волосах. Для Забайкальского края присущ высокий риск загрязнения объектов окружающей среды, обусловленный определёнными причинами, среди которых ведущими являются климатогеографические факторы. Существующий антициклональный характер перемещения воздушных масс, формирование температурных инверсий в холодное время года, низкая самоочищающая способность биосферы, орографические особенности местности способствуют созданию неблагоприятных условий для рассеивания выбросов предприятий теплоэнергетики, промышленных объектов и автотранспорта, что приводит к загрязнению атмосферного воздуха, почвы, поверхностных водотоков, снежного покрова токсичными химическими элементами. Полученные данные об элементном составе волос детей свидетельствуют о воздействии техногенных факторов [14–16].

У детей 2-й группы отмечено высокое содержание по сравнению с 1-й группой некоторых условно-эссенциальных и токсичных элементов — никеля, стронция и свинца, при этом наблюдают избыточное содержание таких эссенциальных элементов, как фосфор, кальций, железо и цинк. Избыточное накопление свинца и цинка в биосубстрате детей отражает экологическую ситуацию на данных территориях, обусловленную наличием месторождений свинцово-цинковых руд и хвостохранилищ, сформировавшихся в результате их переработки и обогащения. Обращает на себя внимание низкое содержание по сравнению с 1-й группой таких эссенциальных элементов, как селен, йод, кобальт, что связано с повышенной концентрацией свинца, являющегося антагонистом данных веществ. Таким образом, волосы детей, проживающих в населённых пунктах, которые расположены вблизи хвостохранилищ, имеют специфический биогеохимический портрет [10, 11].

Для некоторых эссенциальных (сера, хром, марганец, медь, калий) и условно-эссенциальных и токсичных (мышьяк, титан) элементов не выявлено статистически значимых различий в содержании в биосубстрате между двумя группами. Мышьяк — один из самых часто встречающихся элементов в составе золото-полиметаллических и олово-полиметаллических руд, добываемых на территории края. Разведано более 1000 месторождений и проявлений коренного и россыпного золота, по объёмам его добычи регион входит в десятку золотодобывающих субъектов России. Элемент является индикатором золота, сопутствующим золотоносным образованиям, поскольку существенная масса золота представлена ведущим рудным минералом арсенопиритом. Проведённые исследования выявили накопление мышьяка в почве, воде поверхностных и подземных водоисточников, обусловленное как техногенным воздействием, связанным с разработкой месторождений полезных ископаемых и складированием отходов производства, содержащих токсичные вещества (мышьяк, свинец, кадмий, сурьму и т. д.) в хвостохранилищах, так и природными геологическими особенностями местности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что одинаковое содержание мышьяка в биосубстрате в обеих исследуемых группах, вероятно, обусловлено геохимическими природными особенностями региона [7, 15, 17].

На территории юго-восточных районов (Нерчинско-Заводский, Газимуро-Заводский, Калганский, Александрово-Заводский) впервые выявили и описали уровскую (Кашина–Бека) болезнь, этиологию которой до настоящего времени не выяснили. Тем не менее существует несколько гипотез возникновения данной патологии, одна из которых — биогеохимическая теория, впервые выдвинутая А.П. Виноградовым. В соответствии с ней в окружающей среде наблюдают дисбаланс кальция, фосфора и стронция. В дальнейшем это направление развито в работах В.В. Ковальского, В.В. Ермакова, И.А. Самариной, В.Г. Хоботьева и В.С. Бутко, которые выявили повышенные концентрации стронция и снижение соотношения кальция к стронцию (Ca/Sr). В связи с этим рекомендовано использовать отношение Ca/Sr в качестве индикаторного показателя. Признаком неблагополучия при данной патологии является значение данного соотношения менее 100. Согласно фосфатно-марганцевой гипотезе, разработанной В.И. Ивановым, А.В. Вощенко, Н.Н. Дружковой, Л.В. Зайко, а также Л.П. Никитиной, избыточное поступление фосфатов приводит к дефициту кальция в организме и усиленной выработке паратгормона, тогда как избыток марганца активизирует деятельность остеокластов, что вызывает преждевременное обызвествление зоны роста, замедление роста кости и развитие артропатий. В Китае основной является теория, в соответствии с которой главным фактором развития болезни Кашина–Бека является недостаток селена в окружающей среде, в исследованиях Л.В. Аникиной и Л.П. Никитиной

также отмечена значительная роль дефицита селена в возникновении заболевания [18, 19].

Анализ полученных результатов выявил статистически значимое высокое содержание кальция, фосфора, стронция и максимальные значения отношений кальция к фосфору (Ca/P: 5,1) и Ca/Sr (217,4) в биосубстрате детей 2-й группы ($p < 0,001$), которые проживали в эндемичных населённых пунктах в отношении уровской болезни, в то время как у детей 1-й группы выявлены более низкие концентрации данных элементов и значения отношений Ca/P (4,2) и Ca/Sr (190,4). При анализе концентрации марганца в биосубстрате выявлено, что максимальные значения отношений фосфора к марганцу (P/Mn: 94,8) и кальция к марганцу (Ca/Mn: 481,4) установлены у детей 2-й группы, тогда как в 1-й группе они составили 43,7 и 183,1 соответственно. Таким образом, определены различия в содержании изучаемых элементов у детей и подростков, проживающих на эндемичной и контрольной территориях, что может подтверждать некоторые ранее высказанные геохимические гипотезы возникновения уровской болезни. Основным источником поступления марганца являются растительные продукты, поэтому выявленная закономерность может быть обусловлена изменением характера питания населения, использующего в основном привозные пищевые продукты, а также связана с уменьшением доли сельских жителей, употреблявших местную продукцию, в общей структуре численности населения края. Обнаруженное статистически значимое низкое содержание селена (0,02 мг/кг) в биосубстрате детей 2-й группы по сравнению с 1-й (0,15 мг/кг) можно рассматривать в качестве индикатора биогеохимической природы заболевания ($p < 0,001$).

Край является ураноносной провинцией, в регионе добывают почти 100% урана, а также в нём находится единственный в стране комплекс по его обогащению. Выявленные различия в содержании радиоактивных элементов урана и тория в биосубстрате исследуемых групп свидетельствуют о комплексном техногенно-природном влиянии, обусловленным наличием месторождений урановых руд, промышленных предприятий и предприятий топливно-энергетического сектора [18–20].

Оценка корреляционной зависимости между количественным содержанием различных химических элементов в биосубстрате выявила наличие обширных взаимосвязей между ними. На формирование ассоциаций химических элементов влияет существование на исследуемых территориях определённых геологических формаций и техногенного прессинга. Сравнение характера корреляционных взаимодействий элементов в волосах детей 1-й группы показало, что для токсичных элементов установлена статистически значимая ($p < 0,01$) положительная связь весьма высокой и высокой силы. В то же время для большинства эссенциальных элементов связь между ними и токсичными элементами носила слабый, умеренный или заметный характер силы статистически

значимой ($p < 0,01$) положительной связи. Основным фактором формирования химического состава волос является техногенная составляющая, обусловленная интенсивным загрязнением атмосферного воздуха в населённых пунктах, в которых проживают дети и подростки, участвующие в исследовании [14–16].

Для волос детей, проживающих в населённых пунктах вблизи расположения хвостохранилищ горнорудного производства характерна связь между элементами, определяющими геохимический фон местности. Для большинства токсичных элементов установлена статистически значимая ($p < 0,01$) положительная весьма высокая и высокая связь. При этом наличие положительной корреляции слабой, умеренной и заметной силы между свинцом, цинком и другими токсичными, а также эссенциальными элементами свидетельствует о влиянии минералогеохимического состава складированных отходов горнорудного производства на территориях проживания участников исследования. В зоне геохимических аномалий объекты окружающей среды характеризуются дисбалансом содержания элементов группы железа, что находит своё отражение в особенностях элементного гомеостаза организма человека. Выявленные обширные корреляционные взаимосвязи между элементами данной группы обусловлены, вероятно, природными условиями местности [18–20].

Закономерности распределения в объектах окружающей среды радиоактивных элементов сходны с редкоземельными, в связи с этим между содержанием данных элементов существует прямая корреляционная зависимость. Подобная последовательность выявлена для детей 1-й группы, в биосубстрате которых выявлены высокие концентрации радиоактивных (урана, тория) и редкоземельных (лантана, церия) элементов. При сравнении характера корреляционных взаимодействий между мышьяком и другими элементами у детей и подростков 1-й группы установлена положительная корреляция высокой и заметной силы, тогда как 2-й группы — слабой силы, что свидетельствует о наличии геохимической аномалии, формирование которой обусловлено геологическими особенностями региона [7, 17, 21].

Ограничения исследования

При изучении содержания химических элементов в волосах детей и подростков, проживающих на техногенно изменённых территориях Забайкальского края, ограничение исследования заключается в малом количестве обследуемых лиц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование выявило неравномерное распределение химических элементов в биосубстрате детей, проживающих в различных условиях техногенной нагрузки. Элементный состав волос детского населения горнорудных территорий отражает специфику

добываемого и перерабатываемого сырья и характеризуется избыточным концентрированием свинца и цинка, низким содержанием селена, йода и кобальта. В населённых пунктах, где ведущими источниками загрязнения окружающей среды являются объекты теплоэнергетики, железнодорожной инфраструктуры, промышленные предприятия и автотранспорт, элементный статус детей отличается высокими концентрациями более широкого спектра токсичных и условно-эссенциальных элементов. Обнаруженные взаимосвязи между содержанием различных химических веществ в биоматериале представляют определённый интерес, поскольку они дают представление о взаимодействии эссенциальных, условно-эссенциальных и токсичных элементов в организме человека. Изучение содержания и соотношения макро- и микроэлементов в волосах позволяет оценить геохимические особенности территорий с различной природно-техногенной обстановкой и разработать мероприятия по профилактике нарушений элементного статуса населения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.А. Михайлова, Е.А. Бондаревич — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста рукописи, интерпретация данных; Н.Н. Коцюржинская, Н.В. Соловьёва, Г.Ю. Самойленко, О.А. Лескова, Б.В. Нимаева — сбор биологического материала, описание материалов и методов, анализ результатов исследования, статистический анализ данных. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России (выписка из протокола заседания № 95 от 25.06.2019). Все законные представители участников исследования добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи. Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика журнала по вопросам доступа к данным к настоящей работе неприменима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей рукописи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал по приглашению редакции.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: L.A. Mikhailova, E.A. Bondarevich: conceptualization, methodology, data curation, writing—original draft, writing—review & editing; N.N. Kotsurzhinskaya, N.V. Solovjeva, G.Yu. Samoilenko, O.A. Leskova, B.V. Nimaeva: resources, investigation, formal analysis. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of Chita State Medical Academy, Ministry of Health of the Russian Federation (extract from protocol No. 95 dated June 25, 2019). The legal representatives of all study participants provided written informed consent, which had been approved by the Ethics Committee as part of the study protocol.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted to the journal by invitation of the editorial board.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Avtsyn AV, Zhavoronkov AA, Rish MA, Strochkova LS. *Human Microelementosis*. Moscow: Publishing house "Meditsina"; 1991. (In Russ.)
2. Ermakov VV, Tyutikov SF, Safonov VA. *Biogeochemical Indication of Trace Elements*. Moscow: Russian Academy of Sciences; 2018. EDN: YNHZUT
3. Abramov BN, Eremin OV, Filenko RA, et al. Assessment of Potential Environmental Hazards of Natural and Man-Made Complexes of Ore Deposits (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geosphere Research*. 2020;(2):64–75. doi: 10.17223/25421379/15/5 EDN: QVXPAG
4. Yurgenson GA, Smirnova OK, Solodukhina MA, Filenko RA. The Geochemical Features of Ores and Technosols of Tailing Gold-Molybdenum Mine Davdava in Eastern Transbaikalia. *Litosphere*. 2016;(2):91–106. EDN: VDXAJ
5. Mikhailova LA, Solodukhina MA, Alekseeva OG, et al. Hygienic Assessment of the Content of Chemicals in the Soil of Mining Areas of the Trans-Baikal Region. *Hygiene and Sanitation*. 2019;98(4):400–410. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-4-400-410 EDN: XZCAKW
6. Chechel LP, Zamana LV. Geochemical Types of Waters of Lead-Zinc Deposits Tailings in the Eastern Transbaikalia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(4):17–25. doi: 10.18799/24131830/2019/4/189 EDN: YWUANL
7. Bondarevich EA, Kotsyurzhinskaya NN, Voychenko AA, et al. The State of the Soil Cover in the Areas of Technogenic Biogeochemical Anomalies in Transbaikalia Region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2020;(3): 57–64. doi: 10.17513/use.37346 EDN: QDIHNF
8. Batyrova GA, Tlegenova ZS, Umarova GA, et al. Microelement Status of the Adult Population in Western Kazakhstan. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(11):42–49. doi: 10.33396/1728-0869-2021-11-42-49 EDN: ERBOWW
9. Lisetskaya LG. Concentrations of Trace Elements in Children's Hair in Rural Areas of the Irkutsk Region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(2):13–19. doi: 10.33396/1728-0869-2021-2-13-19 EDN: ZVLXMN
10. Evstafeva EV, Bogdanova AM, Tymchenko SL, et al. Element Content in Human Hair of Residents from Simferopol city. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(6):391–402. doi: 10.17816/humeco90984 EDN: OQBIAL
11. Larionova TK, Daukaev RA, Shaikhislamova ER, et al. Elemental Imbalance in Children With Cerebral Palsy (Spastic Diplegia). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):829–837. doi: 10.17816/humeco643109 EDN: ECFAPG
12. Rafikova YS, Semenova IN, Suyundukov YT, et al. Results of Biomonitoring for Trace Elements in Children of the Mining Region of Bashkortostan. *Hygiene and Sanitation*. 2018;97(3):245–250. doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-3-245-250 EDN: URPVBU
13. Semenova IN, Rafikova YS, Drovosekova IV, et al. Elemental Status of Population in a Mining Region (on the Example of Transural Region of the Republic of Bashkortostan). *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2015;16(2):47–51. doi: 10.19112/2413-6174-2015-16-2-47-51 EDN: TWCAZL
14. Kleyn SV, Popova EV. Hygienic Assessment of Ambient Air Quality in Chita, a Priority Area of the Federal Clean Air Project. *Public Health and Life Environment - PH&LE*. 2020;333(12):16–22. doi: 10.35627/2219-5238/2020-333-12-16-22 EDN: TGYAR
15. Nimaeva BV. Hygienic Assessment of Soil Quality in Chita. *Smolensk Medical Almanac*. 2021;(3):58–61. EDN: NFAZPT
16. Bondarevich EA, Kotsyurzhinskaya NN, Leskova OA, et al. Monitoring the Level of the Air Contamination by Chemical Elements Impoundment in the Snow Melt of the Snow Blanket. *Ecology and Industry of Russia*. 2021;25(8):47–53. doi: 10.18412/1816-0395-2021-8-47-53 EDN: TKWKXF
17. Solodukhina MA, Yurgenson GA. *Arsenic in Landscapes of the Sherlovogorsk Ore District (Eastern Transbaikalia)*. Chita: ZabGU; 2018. (In Russ.) ISBN: 978-5-9293-2137-5 Available from: <https://inrec-sbras.ru/wp-content/uploads/2021/05/>
18. Zamana LV, Rikhvanov LP, Soktoev BR, et al. New Data on Chemical Composition of Natural Waters in the Area of Distribution of Urov (Kashin–Beck) Disease (Transbaikalia Region). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(1):121–133. doi: 10.18799/24131830/2019/1/56 EDN: VUSIWK
19. Mikhno VA, Baranova TI. Kashin–Beck Disease. *Transbaikalian Medical Bulletin*. 2020;(4):57–58. EDN: XDRQRA
20. Rikhvanov LP, Soktoev BR, Baranovskaya NV, et al. Comprehensive Geochemical Research of the Environmental Components in Endemic Areas of Transbaikalia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021;332(2):7–25. doi: 10.18799/24131830/2021/2/3039 EDN: GWCIYB
21. Solodukhina NA, Mikhailova LA, Lapa SE, Burlaka NM. Geochemical Features of the Environment and Endemic Disease Trans-Baikal territory. *Transbaikalian Medical Bulletin*. 2015;(4):169–174. EDN: UZBHAV

ОБ АВТОРАХ

* **Михайлова Лариса Альфредасовна**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 672000, Чита, ул. Горького, д. 39а;
ORCID: 0000-0001-7470-990X;
eLibrary SPIN: 3125-3516;
e-mail: mihailova-la@mail.ru

Бондаревич Евгений Александрович, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-0032-3155;
eLibrary SPIN: 2664-0626;
e-mail: bondarevich84@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Larisa A. Mikhailova**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 39a Gorky st, Chita, Russia, 672000;
ORCID: 0000-0001-7470-990X;
eLibrary SPIN: 3125-3516;
e-mail: mihailova-la@mail.ru

Evgeniy A. Bondarevich, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-0032-3155;
eLibrary SPIN: 2664-0626;
e-mail: bondarevich84@mail.ru

Коцюржинская Наталья Николаевна, канд. биол. наук,
доцент;
ORCID: 0000-0003-0061-8014;
eLibrary SPIN: 9009-1380;
e-mail: nata_nik_k@mail.ru

Соловьёва Наталья Владимировна, канд. мед. наук,
доцент;
ORCID: 0009-0005-2245-1931;
eLibrary SPIN: 1238-9206;
e-mail: solovjevaNV@yandex.ru

Самойленко Галина Юрьевна, канд. биол. наук;
ORCID: 0009-0006-0671-3388;
eLibrary SPIN: 2967-1729;
e-mail: g.s.311278@mail.ru

Лескова Ольга Александровна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-9565-3546;
eLibrary SPIN: 5811-9793;
e-mail: leskova-olga@inbox.ru

Нимаева Балжит Владимировна;
ORCID: 0000-0002-8029-6213;
eLibrary SPIN: 5574-5763;
e-mail: s407060@yandex.ru

Natalia N. Kotsurzhinskaya, Cand. Sci. (Biology),
Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-0061-8014;
eLibrary SPIN: 9009-1380;
e-mail: nata_nik_k@mail.ru

Natalia V. Solovjeva, MD, Cand. Sci. (Medicine),
Associate Professor;
ORCID: 0009-0005-2245-1931;
eLibrary SPIN: 1238-9206;
e-mail: solovjevaNV@yandex.ru

Galina Yu. Samoilenko, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0009-0006-0671-3388;
eLibrary SPIN: 2967-1729;
e-mail: g.s.311278@mail.ru

Olga A. Leskova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-9565-3546;
eLibrary SPIN: 5811-9793;
e-mail: leskova-olga@inbox.ru

Baljit V. Nimaeva;
ORCID: 0000-0002-8029-6213;
eLibrary SPIN: 5574-5763;
e-mail: s407060@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Динамика качества здоровья госпитализированных пациентов с COVID-19 в постковидный период

И.А. Лакман¹, Н.Ш. Загидуллин², В.М. Тимирьянова¹, Е.А. Бадыкова²,
П.А. Давтян², Д.Ф. Гареева², А.Э. Исламов³, М.Н. Шамуратов¹

¹ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия;

² Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия;

³ Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Использование стандартизированных опросников позволяет отследить динамику качества здоровья пациентов после COVID-19, а также выявить наличие отдалённых последствий перенесённого заболевания в долгосрочной перспективе.

Цель исследования. Оценка динамики физического и психического здоровья пациентов после госпитализации по поводу перенесённой COVID-19-ассоциированной пневмонии на основе индексов качества здоровья.

Методы. Проведено когортное исследование, включавшее два этапа анкетирования (2022 и 2024 гг.) с использованием международного опросника VR-12. В исследование включены пациенты, госпитализированные в клинику Башкирского государственного медицинского университета (Уфа) в 2020 году по поводу COVID-19-ассоциированной пневмонии средней и тяжёлой степени. На основании ответов по опроснику VR-12 рассчитывали индексы физического и психического компонентов здоровья. Сравнение динамики индексов проводили с помощью критерия Вилкоксона. Определяли факторы, влияющие на значения индексов для каждого этапа исследования с помощью уравнений линейной регрессии.

Результаты. В исследование включено 134 пациента, прошедших анкетирование с использованием опросника VR-12. На I и II этапе исследования не отмечено статистически значимых изменений индекса физического компонента здоровья — 75 баллов [54,17; 91,67] ($p=0,800$). В свою очередь, выявлено статистически значимое снижение индекса психического компонента здоровья на II этапе исследования в сравнении с I этапом — 68,33 [52,5; 79,17] и 75,83 баллов [59,17; 85,83] соответственно ($p < 0,001$). Проведённый регрессионный анализ продемонстрировал, что процент поражения лёгких при госпитализации в 2020 году по поводу COVID-19-ассоциированной пневмонии статистически значимо снижал самооценку психического здоровья пациентов в 2022 году ($p=0,045$). К 2024 году это влияние сохранилось, но ослаблено ($p=0,072$). Тем не менее на показатели физического здоровья данный фактор не влиял как спустя 2, так и 4 года после госпитализации по поводу COVID-19.

Заключение. Оценка динамики качества здоровья у пациентов после COVID-19-ассоциированной пневмонии, показала, что последствия перенесённого в среднетяжёлой форме заболевания сохраняются как минимум в течение четырёх лет, сопровождаясь снижением самооценки психического здоровья.

Ключевые слова: COVID-19; оценка в динамике; опросник VR-12; индексы оценки качества здоровья.

Как цитировать:

Лакман И.А., Загидуллин Н.Ш., Тимирьянова В.М., Бадыкова Е.А., Давтян П.А., Гареева Д.Ф., Исламов А.Э., Шамуратов М.Н. Динамика качества здоровья госпитализированных пациентов с COVID-19 в постковидный период // Экология человека. 2025. Т. 32, № 8. С. 598–609.

DOI: 10.17816/humeco679250 EDN: HLVFDS

Post-COVID Trends of Health-Related Quality of Life in Hospitalized Patients With COVID-19

Irina A. Lakman¹, Naufal Sh. Zagidullin², Venera M. Timiryanova¹, Elena A. Badykova², Paruir A. Davtian², Diana F. Gareeva², Albert E. Islanov³, Murat N. Shamuratov¹

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia;

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;

³ Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Standardized questionnaires make it possible to track changes in patients' health-related quality of life after COVID-19 and to identify long-term consequences of the disease.

AIM: The work aimed to evaluate the trends of physical and mental health in patients after hospitalization for COVID-19-associated pneumonia based on health-related quality indices.

METHODS: It was a cohort study with two-staged survey (2022 and 2024) using the international VR-12 questionnaire. The study included patients hospitalized at the Bashkir State Medical University Clinic (Ufa) in 2020 for moderate-to-severe COVID-19-associated pneumonia. Based on VR-12 responses, physical and mental component summary scores were calculated. Changes over time were assessed using the Wilcoxon test. Factors influencing index values at each study stage were identified using linear regression models.

RESULTS: The study included 134 patients who completed the VR-12 questionnaire. Between stage I and stage II, no statistically significant change was observed in the physical component summary score, which was 75 points [54.17; 91.67] ($p=0.800$). In contrast, a statistically significant decline was found in the mental component summary score at stage II compared with stage I, i.e. 68.33 [52.5; 79.17] vs. 75.83 [59.17; 85.83] points, respectively ($p<0.001$). Regression analysis demonstrated that the percentage of lung involvement at the time of hospitalization in 2020 for COVID-19-associated pneumonia significantly reduced patients' self-assessed mental health in 2022 ($p=0.045$). By 2024, this effect persisted but was attenuated ($p=0.072$). Importantly, lung involvement had no effect on physical health indicators either 2 or 4 years after hospitalization for COVID-19.

CONCLUSION: The evaluation of health-related quality of life trends in patients after COVID-19-associated pneumonia showed that the consequences of moderate-to-severe disease persist for at least four years, manifested by a sustained reduction in self-reported mental health.

Keywords: COVID-19; longitudinal assessment; VR-12 questionnaire; health-related quality indices.

To cite this article:

Lakman IA, Zagidullin NSh, Timiryanova VM, Badykova EA, Davtian PA, Gareeva DF, Islanov AE, Shamuratov MN. Post-COVID Trends of Health-Related Quality of Life in Hospitalized Patients With COVID-19. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):598–609. DOI: 10.17816/humeco679250 EDN: HLVFDS

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco679250>

EDN: HLVFDS

后新冠期COVID-19住院患者健康质量的动态变化

Irina A. Lakman¹, Naufal Sh. Zagidullin², Venera M. Timiryanova¹, Elena A. Badykova²,
Paruir A. Davtian², Diana F. Gareeva², Albert E. Islanov³, Murat N. Shamuratov¹

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia;

² Bashkir State Medical University, Ufa, Russia;

³ Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

摘要

论证: 应用标准化问卷可以追踪COVID-19患者在感染后的健康质量动态, 并揭示该疾病在长期前景中的远期影响。

目的: 基于健康质量指数评估因COVID-19相关性肺炎住院后患者的身心健康动态变化。

方法: 开展队列研究, 包括两个阶段的问卷调查(2022年与2024年), 采用国际通用VR-12问卷。纳入对象为2020年因中度和重度COVID-19相关性肺炎而住院于Bashkir State Medical University Clinic (Ufa) 的患者。根据VR-12问卷结果计算身体与心理健康成分指数。采用Wilcoxon检验比较指数的动态变化。并通过线性回归方程确定在研究各阶段中影响指数数值的因素。

结果: 共有134名患者完成VR-12问卷。研究第I阶段与第II阶段之间, 身体健康成分指数未见统计学显著差异—75 分 [54. 17; 91. 67] ($p=0.800$)。相反, 心理健康成分指数在第II阶段较第I阶段显著下降, 分别为68. 33分[52. 5; 79. 17]与75. 83分[59. 17; 85. 83] ($p < 0.001$)。回归分析显示, 2020年因COVID-19相关性肺炎住院时的肺部受累比例在统计学上显著降低了患者在2022年的心理健康自评($p=0.045$)。到2024年, 这种影响依然存在, 但已减弱($p=0.072$)。然而, 该因素在COVID-19住院后无论经过2年还是4年, 对身体健康指数均未产生影响。

结论: 对在因中度和重度COVID-19相关性肺炎住院后的患者进行健康质量动态评估表明, 该疾病的后遗影响至少在四年内持续存在, 并伴随患者心理健康自评的下降。

关键词: COVID-19; 动态评估; VR-12问卷; 健康质量评估指数。

引用本文:

Lakman IA, Zagidullin NSh, Timiryanova VM, Badykova EA, Davtian PA, Gareeva DF, Islanov AE, Shamuratov MN. 后新冠期COVID-19住院患者健康质量的动态变化. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(8):598–609. DOI: 10.17816/humeco679250 EDN: HLVFDS

收到: 07.05.2025

接受: 20.08.2025

发布日期: 03.09.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Существует множество исследований, доказывающих, что перенесённая коронавирусная инфекция (COVID-19) оказывает в долгосрочной перспективе неблагоприятное влияние на «работоспособность» различных систем организма (сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной системы), что значительно снижает общее качество жизни человека. По данным A.L. Cabrera Martimbianco и соавт. [1], у 80% пациентов, перенёвших инфекцию в среднетяжёлой и тяжёлой форме, сохраняются постковидные симптомы от трёх месяцев до двух лет. Согласно отчёту Всемирной организации здравоохранения к постковидным симптомам относят усталость, одышку, нарушение когнитивных функций, в том числе ухудшение памяти¹. Все эти симптомы наблюдают не менее двух месяцев после выздоровления от COVID-19 и не могут быть объяснены альтернативным диагнозом. Систематический обзор A. Melillo и соавт. [2] демонстрирует, что перенесённая коронавирусная инфекция среднетяжёлой и тяжёлой степени связана с когнитивными нарушениями в постковидный период. L. Huang и соавт. [3] провели когортное исследование, доказывающее, что физическая усталость, одышка и ухудшение памяти могут сохраняться у пациентов, госпитализированных по поводу COVID-19, в течение последующих двух лет после перенесённого заболевания. Однако такие симптомы актуальны для пациентов, госпитализированных в начале пандемии (например, в Республике Башкортостан — с марта по декабрь 2020 г.), когда заболевание характеризовалось более тяжёлым течением. Согласно исследованиям, последствия перенесённого COVID-19 могут сохраняться до двух лет [4], после чего выраженность постковидных проявлений уменьшается [5]. A. Deesomchok и соавт. [6] отмечают, что несмотря на улучшение состояния здоровья через два года после перенесённой пневмонии, ассоциированной с COVID-19, последствия всё же остаются заметными по сравнению с группой пациентов, не перенёвших COVID-19 (по крайней мере в период начала пандемии).

Стандартизированные опросники качества жизни, позволяющие количественно оценивать физические и психоэмоциональные страдания человека, широко применяются в исследовании постковидных последствий. Например, при изучении синдрома long-COVID использовали следующие инструменты: EQ-5D-5L (5-уровневая шкала, разработанная группой EuroQol в 2009 году² и прошедшая валидацию в России [7]), SF-36 (Short Form-36 Health

Survey — оригинальный опросник [8] и русифицированная версия, одобренная Минздравом Российской Федерации [9]), VR-12 (Veterans RAND 12-Item Health Survey) [10], а также PHQ-9 (Patient Health Questionnaire-9 — оригинальный опросник [11], валидированная русифицированная версия [12]). Их применение позволило исследователям сделать вывод о физическом и психическом состоянии пациентов, перенёвших COVID-19 [13]. Опросники, направленные на лучшее понимание качества жизни и психологического статуса пациентов, перенёвших COVID-19, позволяют выявить улучшения или ухудшения качества жизни в динамике при проведении когортных исследований. Все такие опросники являются стандартизированными и проходят обязательную регистрацию. Так, в исследовании, проведённом на основе анализа качества жизни согласно опроснику SF-36, отмечают постепенное улучшение качества жизни в течение двух лет после госпитализации по поводу COVID-19-ассоциированной пневмонии по сравнению с периодом через год после выписки [14]. Однако отсутствуют исследования, проведённые в более отдалённой перспективе.

Цель

Оценка динамики физического и психического здоровья пациентов после госпитализации по поводу перенесённой COVID-19-ассоциированной пневмонии на основе индексов качества здоровья.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено когортное исследование, включающее два этапа анкетирования с использованием международного опросника VR-12 [10].

Условия проведения исследования

Проводили анкетирование пациентов, госпитализированных в клинику Башкирского государственного медицинского университета (Уфа) в 2020 году по поводу COVID-19-ассоциированной пневмонии средней и тяжёлой степени тяжести в период 01 сентября по 30 ноября (волну α). Получено официальное разрешение от авторов на использование шкалы VR-12, предусматривающее размещение ссылки на проведённое исследование в репозитории. В 2022 году мы разработали кроссплатформенное программное обеспечение на базе Node.js (язык программирования JavaScript) для сбора данных на I этапе анкетирования, которое обеспечивало автоматическое формирование базы данных ответов респондентов. Программное обеспечение реализовали в виде веб-приложения: на титульном листе вносили информацию о ФИО пациента и его поле, а каждый вопрос открывался на отдельной странице с возможностью выбора виджет радиокнопки возле верного ответа респондента.

¹ Post COVID-19 Condition (Long COVID); [около 3 страниц]. В: Всемирная организация здравоохранения [интернет]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2021–2025. Режим доступа: <https://www.who.int/srilanka/news/detail/16-10-2021-post-covid-19-condition> Дата обращения: 23.07.2025.

² EQ-5D-5L; [около 1 страницы]. В: EUROQOL [интернет]. Роттердам: EUROQOL, 2025–2025. Режим доступа: <https://euroqol.org/information-and-support/euroqol-instruments/eq-5d-5l> Дата обращения: 23.07.2025.

Взаимодействие с базой данных осуществлялось посредством SQL Server, а доступ к ней обеспечивали посредством внешнего туннеля с использованием сервиса ngrok.

Опрос проводили по телефону среди пациентов, ранее участвовавших в анкетировании I этапа [14] (в 2022 году). Количество респондентов равномерно распределили между тремя интервьюерами — врачами (одним мужчиной и двумя женщинами). Звонки выполняли ежедневно, включая выходные, с 18:00 до 20:00. В случае недозвона попытку повторяли ещё 2 раза.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- пациенты, госпитализированные в 2020 году по поводу COVID-19-ассоциированной пневмонии средней и тяжёлой степени в волну α;
- пациенты, прошедшие анкетирование согласно опроснику VR-12 в 2022 году.

Критерии не включения:

- пациенты, отказавшиеся отвечать на вопросы анкеты VR-12 на II этапе опроса.

Критерии исключения:

- пациенты, которые не смогли ответить на вопросы опросника на II этапе исследования в связи с отсутствием телефонного контакта;
- пациенты, умершие в период 2022–2024 гг.

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

Оценка динамики физического и психического здоровья пациентов после госпитализации по поводу перенесённой COVID-19-ассоциированной пневмонии на основе индексов качества здоровья.

Дополнительные показатели исследования

Выявление факторов, влияющих на значения индексов физического и психического компонентов здоровья.

Методы измерения целевых показателей

Использование опросника VR-12 для оценки физического и психического здоровья в постковидный период обусловлено его широким применением в подобных исследованиях, что обеспечивает сопоставимость результатов, а также простой интерпретацией ответов по 3- и 6-балльной шкале Лайкерта. Дополнительным преимуществом является удобство заполнения анкеты и высокая скорость проведения опроса за счёт использования ранее разработанного компьютерного приложения.

Опросник VR-12, помимо 12 основных вопросов, позволяющих рассчитать индекс физического компонента здоровья (Physical Component Summary, PCS: вопросы 1, 2a, 2b, 3a, 3b, 5) и индекс психического компонента здоровья (Mental Component Summary, MCS: вопросы 4a, 4b, 6a, 6b, 6c, 7), содержит 2 дополнительных вопроса

с 5-ю вариантами ответов в соответствии со шкалой Лайкерта, которые модифицированы по сравнению со стандартными опросником с учётом отсылки к состоянию при госпитализации по поводу COVID-19.

- Вопрос № 8: «Как бы Вы оценили своё здоровье сейчас по сравнению с тем, каким оно было сразу после выписки из ковидного госпиталя?»;
- Вопрос № 9: «Как бы Вы оценили ваши эмоциональные проблемы сейчас по сравнению с тем, какими они были сразу после выписки из ковидного госпиталя (например, состояние подавленности или тревоги)?».

Оба индекса (PCS и MCS) могли принимать значение в интервале 0–100 баллов, где 100 — абсолютный показатель здоровья, а 0 — отсутствие у анкетированного здоровья (для 5 вариантов ответов шаг альтернатив составлял 25 баллов, для 6 — 20 баллов). Индексы рассчитывали посредством усреднения баллов, полученных за ответы на вопросы 1, 2a, 2b, 3a, 3b, 5 (для индекса PCS) и 4a, 4b, 6a, 6b, 6c, 7 (для индекса MCS). Перевод ответов в баллы по методике использования шкалы VR-12 автоматизировали с помощью макроса в Excel. В случае, если респондент отказывался отвечать на какие-то из вопросов, то некоторые из ответов могли быть восстановлены: для пар ответов 2a и 2b, 3a и 3b, 4a и 4b, 6a и 6b в случае пропуска одного из них балл восстанавливали по ответу на второй вопрос. Помимо показателей качества жизни, измеренных согласно индексам PCS и MCS, полученных по шкале опросника VR-12, у пациентов также анализировали клинико-демографические характеристики (пол, возраст и сопутствующие заболевания) и течение COVID-19 [наличие респираторного дистресс-синдрома (РДС), процент поражения лёгких по данным компьютерной томографии (КТ), длительность госпитализации в днях, применение искусственной вентиляции лёгких или неинвазивной искусственной вентиляции лёгких].

Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Башкирского государственного медицинского университета (протокол заседания № 9 от 17.12.2021). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

Статистические процедуры

Запланированный размер выборки

Размер выборки предварительно не рассчитывали.

Статистические методы

Для статистической обработки результатов анкетирования пациентов, госпитализированных в волну α, на предмет выявления различий в индексах качества

здоровья со временем использовали критерии Вилкоксона (для непрерывных данных) и МакНемара (для категориальных данных) для зависимых выборок, поскольку опрашивали одних и тех же пациентов. Выбор в пользу использования непараметрического критерия Вилкоксона, в отличие от t -критерия для связанных выборок, обусловлен отсутствием нормальности распределения исследуемых показателей (нулевую гипотезу отвергали при $p < 0,05$ согласно критерию Шапиро–Уилка). Для оценки согласованности ответов, формирующих индексы PCS и MCS, полученных на II этапе анкетирования, рассчитан коэффициент α Кронбаха, так же как и при анализе результатов I этапа опроса. Результаты количественных данных представлены в виде $Me [Q1; Q3]$, где Me — медиана, а $Q1$ и $Q3$ — 1-й и 3-й квартиль соответственно.

Для количественного измерения влияния факторов течения инфекции и клинико-демографических характеристик пациентов строили уравнения линейной регрессии, коэффициенты которой тестировали на наличие статистической значимости с помощью теста Вальда. Поскольку значения индексов PCS и MCS были непрерывными величинами, то для них можно оценить уравнение линейной регрессии в виде:

$$PCS_i = \beta_0 + \beta_1 \times Age_i + \beta_2 \times Sex_i + \beta_3 \times RDS_i + \beta_4 \times LD_i, \quad (1)$$

где PCS_i — индекс физического компонента здоровья i -го пациента ($i=1, 2, \dots, 134$); Age_i — возраст i -го пациента на момент госпитализации; Sex_i — переменная, принимающая значение 0, если пол i -го пациента женский, и 1, если пол — мужской; RDS_i — переменная, принимающая значение 0, если у i -го пациента во время госпитализации отсутствовал РДС, и 1 — в случае его наличия; LD_i — процент поражения лёгких по данным КТ i -го пациента во время госпитализации; β_0 — свободный член в уравнении линейной регрессии для PCS; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ — коэффициенты уравнений линейной регрессии, подлежащие оценке методом наименьших квадратов;

$$MCS_i = \gamma_0 + \gamma_1 \times Age_i + \gamma_2 \times Sex_i + \gamma_3 \times RDS_i + \gamma_4 \times LD_i, \quad (2)$$

где MCS_i — индекс психического компонента здоровья i -го пациента ($i=1, 2, \dots, 134$); Age_i — возраст i -го пациента на момент госпитализации; Sex_i — переменная, принимающая значение 0, если пол i -го пациента женский, а 1 — мужской; RDS_i — переменная, принимающая значение 0, если у i -го пациента во время госпитализации отсутствовал РДС, а 1 — в случае его наличия; LD_i — процент поражения лёгких по данным КТ i -го пациента во время госпитализации; γ_0 — свободный член в уравнении линейной регрессии для MCS; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ — коэффициенты уравнения линейной регрессии, подлежащие оценке методом наименьших квадратов.

Полученные коэффициенты сравнивали с коэффициентами, рассчитанными на I этапе анкетирования, через 2 года после перенесённой инфекции, на основе исследования, которое мы ранее провели [14]. В качестве целевых показателей в таких уравнениях регрессии также рассматривали индексы PCS и MCS, рассчитанные

на основе I этапа исследования с использованием опросника VR-12. Считали, что регрессионные коэффициенты статистически значимо отличаются от нуля, если p -уровень отклонения соответствующей нулевой гипотезы не превосходил 0,05.

Для сравнения с общепопуляционными оценками качества здоровья по опроснику VR-12 использовали данные, актуальные для популяции Соединённых Штатов Америки (США) [15], поскольку российские показатели качества здоровья популяции отсутствуют. Статистический анализ проводили с использованием языка R версии 4.4 (R Foundation for Statistical Computing, Австрия) в среде разработки RStudio (Posit PBC, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Формирование выборки

Последовательность формирования выборки исследования представлена на рис. 1.

В результате опроса на II этапе из 158 пациентов, анкетизируемых на I этапе для оценки качества здоровья, на все вопросы ответили только 134. Для корректности анализа динамики качества здоровья пациентов из ответов I этапа удалены ответы респондентов, не прошедших опрос во второй раз. В итоге сформирован набор данных опроса 2022 и 2024 гг. 134 пациентов, госпитализированных по поводу COVID-19-ассоциированной пневмонии.

Характеристики выборки

В табл. 1 продемонстрирована клинико-демографическая характеристика пациентов на момент госпитализации в 2020 году.

Основные результаты исследования

Ответы на вопросы, использованные для расчёта индексов PCS и MCS, продемонстрировали внутреннюю согласованность по коэффициенту α Кронбаха (табл. 2), что свидетельствует о надёжности полученных результатов.

В табл. 3 представлены результаты оценки и сравнения индексов PCS и MCS, полученных на I и II этапах опроса (спустя 2 и 4 года после госпитализации по поводу COVID-19-ассоциированной пневмонии). Согласно критерию Вилкоксона, для самооценки физического компонента здоровья различий спустя 2 года не выявлено ($p > 0,5$), для психического компонента здоровья — показатели статистически значимо ухудшились ($p < 0,001$).

Дополнительные результаты исследования

Для оценки различий во влиянии ковариат, определённых на момент госпитализации, на индексы PCS и MCS спустя четыре года рассчитаны уравнения линейной регрессии (аналогично анализу I этапа исследования). В табл. 4 представлены регрессионные коэффициенты, их стандартные ошибки и значения p

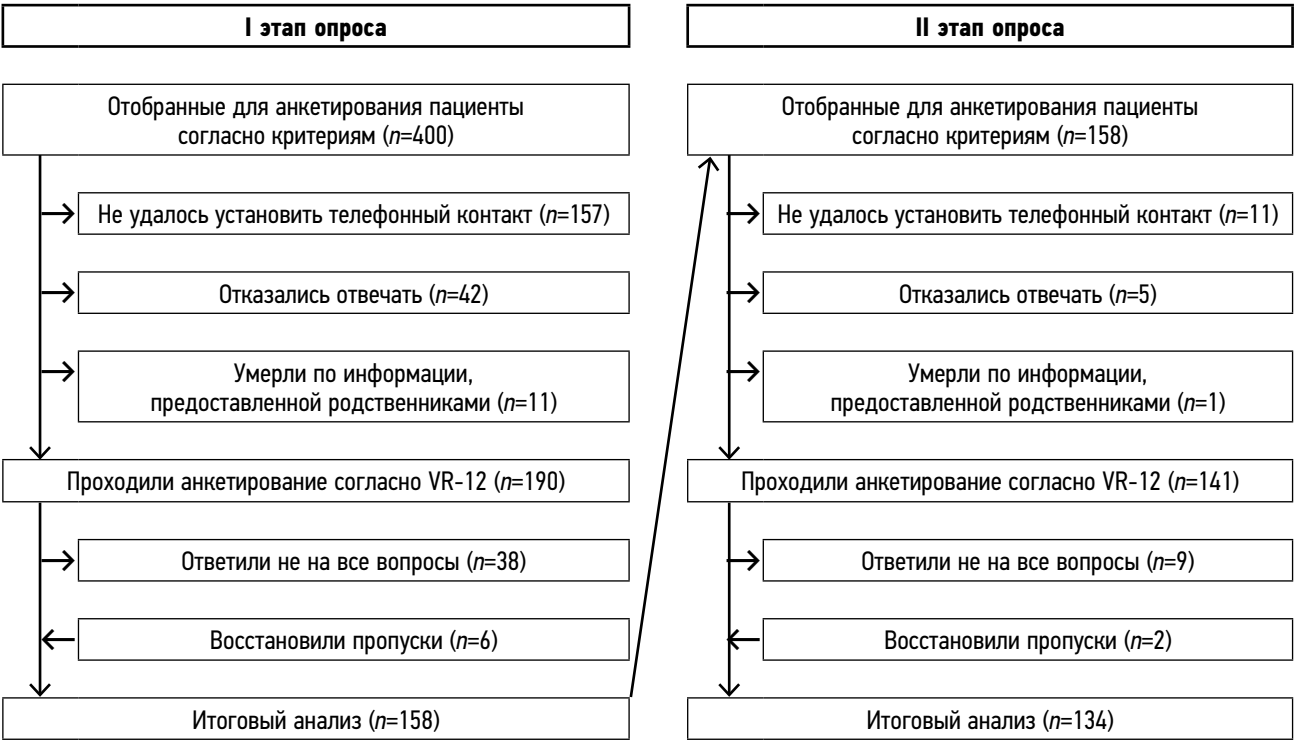


Рис. 1. Последовательность формирования выборки исследования.
Fig. 1. Flowchart of study sample formation.

Таблица 1. Клинико-демографическая характеристика анкетированных пациентов согласно опроснику VR-12 (n=134)
Table 1. Clinical and demographic characteristics of surveyed patients according to the VR-12 (n = 134)

Характеристики	Результаты
Возраст на момент госпитализации, лет	57 [46; 67]
Мужской пол, n (%)	49 (40,5)
Индекс массы тела, кг/м ²	28,5 [25,6; 31,2]
Рост, м	1,65 [1,60; 1,72]
Масса тела, кг	79,5 [70; 89]
Процент поражения лёгких по данным компьютерной томографии, %	40 [27; 48]
Длительность госпитализации, дни	11 [9; 13]
Наличие респираторного дистресс-синдрома, n (%)	14 (11,6)
Артериальная гипертензия, n (%)	44 (36,4)
Хроническая сердечная недостаточность, n (%)	11 (9,1)
Хроническая болезнь почек, n (%)	7 (5,8)
Сахарный диабет, n (%)	26 (21,5)
Инфаркт в анамнезе, n (%)	2 (1,7)
Инсульт в анамнезе, n (%)	4 (3,3)
Хроническая обструктивная болезнь лёгких, n (%)	4 (3,3)
Искусственная вентиляция лёгких или неинвазивная искусственная вентиляция лёгких, n (%)	0 (0)

Примечание. Результаты количественных данных представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно.

для зависимых переменных PCS и MCS по данным двух этапов исследования. Как видно из результатов, возраст пациентов спустя 4 года после госпитализации по поводу COVID-19 продолжает влиять на самооценку показателей физического и психического здоровья. При этом сила влияния за два и четыре года после болезни практически не изменилась: в среднем увеличение возраста пациента на 1 год относительно среднего возраста снижало индекс PCS в 2022 году на 0,79 и на 0,75 в 2024, а индекс MCS — на 0,49 и 0,48 соответственно. Регрессионный анализ также продемонстрировал, что мужской пол остаётся фактором, повышающим оценку качества физического и психического здоровья: в 2022 году соответственно на 11,5 и 9,5 баллов, в 2024 — на 11,0 и 9,0 баллов. Наличие РДС, развившегося при госпитализации в 2020 году, не оказывало влияние на индексы PCS и MCS ни в 2022, ни в 2024 году. В то же время процент поражения лёгких при госпитализации значительно снижал показатели самооценки психического здоровья пациента в 2022 году ($p=0,045$). В 2024 году это влияние сохранилось, однако его выраженность уменьшена ($p=0,072$). Статистически значимое различие свободных членов уравнений регрессий для индекса MCS, рассчитанных по результатам I и II этапа исследования ($89,32\pm6,55$ против $82,34\pm7,23$), отражает общее его снижение (см. табл. 3).

Кроме того, анализировали ответы на дополнительные вопросы № 8 и 9, которые незначительно модифицированы по сравнению с оригинальными пунктами анкеты VR-12. В табл. 5 приведены частоты ответов на вопросы

Таблица 2. Меры оценки согласованности ответов на вопросы, формирующие индексы физического и психического компонентов здоровья

Table 2. Measures of response consistency for questions constituting the physical and mental component summary scores

Индексы качества жизни	I этап (2022 год), n=134		II этап (2024 год), n=134	
	α Кронбаха	p	α Кронбаха	p
Индекс физического компонента здоровья	0,74	<0,001	0,71	<0,001
Индекс психического компонента здоровья	0,69	<0,001	0,72	<0,001

Таблица 3. Сравнение индексов физического и психического компонентов здоровья спустя 2 и 4 года после госпитализации по поводу перенесённой COVID-19-ассоциированной пневмонии

Table 3. Comparison of physical and mental component summary scores at 2 and 4 years after hospitalization for COVID-19-associated pneumonia

Индексы качества жизни	I этап (2022 год), n=134	II этап (2024 год), n=134	p
Индекс физического компонента здоровья, баллы	75,0 [54,17; 91,67]	75 [54,17; 91,67]	0,800
Индекс психического компонента здоровья, баллы	75,83 [59,17; 85,83]	68,33 [52,50; 79,17]	<0,001***

Примечание. Результаты представлены в виде Me [Q1; Q3], где Me — медиана, а Q1 и Q3 — 1-й и 3-й квартиль соответственно. Сравнения по критерию Вилкоксона. *** — наличие статистически значимых различий ($p < 0,001$).

Таблица 4. Параметры линейной регрессии индексов физического и психического компонентов здоровья на I и II этапе исследования

Table 4. Linear regression parameters of physical and mental component summary scores at stage I and stage II of the study

Фактор влияния	Регрессионный коэффициент±SE, p			
	Индекс физического компонента здоровья		Индекс психического компонента здоровья	
	I этап, 2022 год	II этап, 2024 год	I этап, 2022 год	II этап, 2024 год
Возраст	−0,79±0,13*** p < 0,001	−0,75±0,14*** p < 0,001	−0,49±0,10** p < 0,001	−0,48±0,12** p < 0,001
Пол (мужской)	11,48±3,46*** p < 0,001	11,04±3,66** p = 0,003	9,51±2,79** p < 0,001	8,95±3,08** p = 0,004
Наличие респираторного дистресс-синдрома	0,91±5,78 p = 0,875	1,31±5,66 p = 0,818	−0,08±4,67 p = 0,985	0,35±4,76 p = 0,942
Процент поражения лёгких по данным компьютерной томографии	−0,11±0,09 p = 0,265	0,14±0,10 p = 0,186	−0,15±0,07* p = 0,045	−0,16±0,09 p = 0,072
Свободный член	104,39±8,11*** p < 0,001	100,95±8,59*** p < 0,001	89,32±6,55*** p < 0,001	82,34±7,23*** p < 0,001

Примечание. * — коэффициент статистически значим при $p < 0,05$; ** — коэффициент статистически значим при $p < 0,01$; *** — коэффициент статистически значим при $p < 0,001$.

на I и II этапах исследования. Как видно, статистически значимых различий между 2022 и 2024 гг. не выявлено ($p > 0,2$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Проведённый анализ динамики качества здоровья пациентов, госпитализированных с COVID-19-ассоциированной пневмонией в 2020 году, показал, что через 4 года после заболевания отсутствует статистически значимое изменение индекса PCS по сравнению с соответствующим показателем, полученным на I этапе исследования в 2022 году. Однако выявлено статистически значимое снижение индекса MCS по сравнению с аналогичным показателем, рассчитанным в 2022 году.

Интерпретация результатов исследования

Результаты I этапа исследования, проведённого в 2022 году, продемонстрировали, что статистически значимых различий между индексами PCS и MSC не выявлено. При этом установлено статистически значимое влияние возраста на снижение самооценки качества здоровья ($p < 0,01$), отсутствие эффекта перенесённого во время госпитализации РДС, а также статистически значимые различия между мужчинами и женщинами ($p < 0,01$). Кроме того, высокий процент поражения лёгких по данным КТ ассоциирован со снижением показателей психического здоровья ($p < 0,05$) [14].

Следует отметить, что некоторые исследования подтверждают ассоциацию долгосрочных последствий COVID-19 с проблемами психического здоровья. Так, в работе А.П. Майбы и соавт. [16] на основе опросника

Таблица 5. Частоты ответов на дополнительные вопросы опросника VR-12 на I и II этапе исследования**Table 5.** Response frequencies for additional VR-12 questionnaire items at stage I and stage II of the study

Ответы	I этап, <i>n</i> (%)	II этап, <i>n</i> (%)	<i>p</i>
Как бы Вы оценили своё здоровье сейчас по сравнению с тем, каким оно было сразу после выписки из ковидного госпиталя?			
Сейчас гораздо лучше, чем после госпитализации	84 (62,7)	86 (64,2)	0,800
Немного лучше, чем после госпитализации	33 (24,6)	32 (23,8)	0,887
На том же уровне	9 (6,7)	9 (6,7)	1,0
Немного хуже, чем после госпитализации	4 (3,0)	4 (3,0)	1,0
Гораздо хуже сейчас, чем после госпитализации	4 (3,0)	3 (2,3)	0,702
Как бы Вы оценили ваши эмоциональные проблемы сейчас по сравнению с тем, какими они были сразу после выписки из ковидного госпиталя?			
Сейчас гораздо лучше, чем после госпитализации	72 (53,7)	65 (48,5)	0,393
Немного лучше, чем после госпитализации	35 (26,1)	42 (31,3)	0,345
На том же уровне	18 (13,5)	20 (14,9)	0,727
Немного хуже, чем после госпитализации	5 (3,7)	4 (3,0)	0,735
Гораздо хуже сейчас, чем после госпитализации	4 (3)	3 (2,3)	0,702

SF-36 показано, что через 3–4 года после перенесённого заболевания у лиц молодого возраста (средний возраст 24 года) наблюдают умеренные нарушения психического здоровья, а индексы качества жизни статистически значимо ниже по сравнению с не болевшими сверстниками. Систематический обзор и метаанализ, проведённый Т.А. Усановой и соавт. [17] в 2022 году, доказал, что для пациентов, перенёвших COVID-19 в волну α , в постковидный период наиболее характерны усталость и когнитивные нарушения, являющиеся компонентами психического здоровья. Кроме того, существуют данные о хронической боли у госпитализированных пациентов в отдалённые сроки после заболевания [18], однако в нашем исследовании различий в ответах на вопрос Р.5, связанный с оценкой боли, на I и II этапах исследования не выявлено.

Для верификации полученных значений индексов PCS и MCS, в отсутствие российских нормативов, мы использовали таблицу, предложенную М. Соса Perrailon и соавт. [15], основанную на общепопуляционных американских показателях. Для этого рассчитали доли возрастных групп по каждому из этапов исследования и среднее значение индексов PCS и MCS. На I этапе исследования из 134 человек:

- в возрасте 18–40 лет — 20 (15%): $PCS_{cp}=89,95$ баллов, $MCS_{cp}=84,34$ баллов;
- 41–65 лет — 76 (56,7%): $PCS_{cp}=70,46$ баллов, $MCS_{cp}=71,18$ баллов;
- 66–80 лет — 32 (23,9%): $PCS_{cp}=62,60$ баллов, $MCS_{cp}=37,50$ баллов;
- более 80 лет — 6 (4,4%): $PCS_{cp}=37,50$ баллов, $MCS_{cp}=48,60$ баллов.

Поскольку возраст за 2 года у респондентов поменялся, то II этапе исследования также определяли повозрастные долевые соотношения:

- в возрасте 18–40 лет — 13 (9,6%): $PCS_{cp}=85,30$ баллов, $MCS_{cp}=79,20$ баллов;
- 41–65 лет — 75 (55,9%): $PCS_{cp}=72,64$ баллов, $MCS_{cp}=66,50$ баллов;
- 66–80 лет — 39 (29,1%): $PCS_{cp}=62,40$ баллов, $MCS_{cp}=62,12$ баллов;
- более 80 лет — 6 (4,4%): $PCS_{cp}=37,50$ баллов, $MCS_{cp}=41,90$ баллов.

Здесь следует отметить, что показатели самооценки состояния здоровья в российской и американской популяциях имели различия. Значения PCS в России для всех возрастных групп, за исключением пациентов старше 80 лет, были статистически значимо выше, чем в американской выборке (для возрастных групп 18–40, 41–66, 66–80 и 80 лет и старше — 52,5, 48,0, 41,4 и 35,6 баллов соответственно). Что касается индекса MCS, то в американской популяции он варьировал от 50,5 до 51,5 баллов во всех возрастных группах.

У мужчин в нашем опросе индексы также были вероятно завышены: так на I этапе исследования они составили: PCS_{cp} и MCS_{cp} — 77,27 и 77,22 баллов соответственно; а на II этапе: PCS_{cp} и MCS_{cp} — 76,59 и 71,05 баллов соответственно (против американских PCS_{cp} и MCS_{cp} — 49,56 и 52,84 баллов соответственно). Для женщин в на I этапе исследования: PCS_{cp} и MCS_{cp} — 64,79 и 67,95 баллов соответственно; на II этапе: PCS_{cp} и MCS_{cp} — 64,97 и 62,07 баллов соответственно (против американских PCS_{cp} и MCS_{cp} — 48,12 и 50,36 баллов соответственно). Такое различие в самооценках здоровья мужчин и женщин можно объяснить несколькими причинами:

- во-первых, COVID-19 в долгосрочной перспективе оказал более выраженное влияние на качество здоровья женщин по сравнению с мужчинами, что согласуется с данными Т. Lulic-Kuryllo и соавт. [19];

- во-вторых, мужчины в России, как правило, склонны завышать самооценку собственного здоровья.

Что касается качества жизни пациентов с сопутствующими заболеваниями, переболевших COVID-19, то для пациентов с сахарным диабетом на I этапе исследования показатели составили: PCS_{ср} и MCS_{ср} — 56,74 и 60,35 баллов соответственно; на II этапе: PCS_{ср} и MCS_{ср} — 56,74 и 53,14 баллов соответственно (по сравнению с американскими PCS_{ср} и MCS_{ср} — 40,20 и 48,31 баллов). Для пациентов с артериальной гипертензией на I этапе исследования получены значения PCS_{ср} и MCS_{ср} — 59,49 и 62,11 баллов соответственно, на II этапе: PCS_{ср} и MCS_{ср} — 60,65 и 57,98 баллов соответственно (против американских PCS_{ср} и MCS_{ср} — 42,55 и 49,90 баллов соответственно). У пациентов с инсультом в анамнезе на I этапе исследования PCS_{ср} и MCS_{ср} — 32,29 и 52,50 баллов соответственно, на II этапе: PCS_{ср} и MCS_{ср} — 32,29 и 45,83 баллов соответственно (против американских PCS_{ср} и MCS_{ср} — 35,18 и 45,36 баллов соответственно). Для пациентов с хронической сердечной недостаточностью на I этапе исследования показатели составили PCS_{ср} и MCS_{ср} — 52,27 и 62,72 баллов соответственно; на II этапе: PCS_{ср} и MCS_{ср} — 51,89 и 59,69 баллов соответственно (по сравнению с американскими PCS_{ср} и MCS_{ср} — 38,75 и 48,48 баллов соответственно). При хронической обструктивной болезни лёгких на I этапе исследования: PCS_{ср} и MCS_{ср} — 54,16 и 68,75 баллов соответственно; на II этапе: PCS_{ср} и MCS_{ср} — 54,06 и 62,08 баллов соответственно (против американских PCS_{ср} и MCS_{ср} — 31,69 и 45,74 баллов соответственно). Таким образом, даже при наличии сопутствующих заболеваний качество жизни в исследуемой выборке в целом оказалось выше, чем в американской популяции, за исключением пациентов с инсультом в анамнезе, показатели которых сопоставимы с зарубежными данными [15]. При этом в течение двух лет (с 2022 по 2024 год) самооценка физического здоровья практически не изменилась, тогда как показатели психического здоровья значимо снизились.

В результате проведённого анализа выявлено влияние процента поражения лёгких при COVID-19 на самооценку психического здоровья через 2 ($p=0,045$) и 4 года ($p=0,072$) после перенесённого заболевания, в то время как на показатели физического здоровья этот фактор не влиял. Это согласуется с результатами, показавшими, что на самооценку физического здоровья спустя 2 года, также оценённой согласно опроснику VR-12, показатель процента поражения лёгких во время болезни не оказывал влияния [20].

Проведённое исследование продемонстрировало, что несмотря на возможное завышение субъективных оценок качества здоровья у переболевших COVID-19, отмечено статистически значимое снижение качества психического здоровья спустя 4 года после заболевания (2024 год) по сравнению с оценкой через 2 года (2022 год), $p < 0,001$. Подобные результаты подтверждают

и другие работы. Так, исследование, проведённое в Румынии через 6 мес. и 2 года после COVID-19, демонстрирует существенное снижение показателей психического здоровья [21]. В другом когортном исследовании (через 1 и 3 года), также выявлено ухудшение психического состояния и снижение его самооценки [22]. В свою очередь, А. Hajek и соавт. [23] связывают это не столько с самим заболеванием, сколько с ограничениями, вызванными пандемией, особенно у пожилых пациентов.

Ограничения исследования

Одним из ограничений настоящего исследования является использование опросника VR-12, который позволяет оценивать только физическое и психическое здоровье, не учитывая социальные аспекты. Однако более комплексные и валидные опросники для оценки качества жизни, например WHOQOL (World Health Organization Quality of Life), включают около 100 вопросов, что существенно осложняет проведение повторных опросов посредством телефонного обзвона.

При планировании и проведении исследования размер выборки для достижения требуемой статистической мощности результатов не рассчитывали. В связи с этим полученную выборку участников невозможно считать в достаточной степени репрезентативной, что не позволяет экстраполировать полученные результаты и их интерпретацию на генеральную совокупность за пределами исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ динамики качества здоровья пациентов, перенёвших COVID-19-ассоциированную пневмонию, требовавшую их госпитализации, выявили преимущественно изменения в самооценке психического здоровья. Показано, что долговременные последствия перенесённого в среднетяжёлой форме заболевания сохраняются по меньшей мере до 4 лет, при этом в первую очередь затрагивается психическое здоровье. Кроме того, наблюдается тенденцию к снижению уровня самооценки психического здоровья со временем.

Выявленные зависимости влияния мужского пола и возраста на самооценку психического и физического здоровья являются ожидаемыми, а вот долгосрочное воздействие процента поражения лёгких, возникшего на фоне COVID-19, требует дополнительного детального анализа. Кроме того, результаты анкетирования согласно опроснику VR-12 продемонстрировали возможную склонность российских пациентов до 80 лет к завышению субъективной оценки своего здоровья.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. И.А. Лакман — дизайн и концепция исследования, анализ литературных данных, построение моделей, написание

и редактирование текста рукописи; Н.Ш. Загидуллин — дизайн и концепция исследования, подготовка раздела обсуждения результатов, написание и редактирование текста рукописи; В.М. Тимирьянова — сбор и анализ литературных данных, написание текста рукописи; Е.А. Бадькова, П.А. Давтян, Д.Ф. Гареева — сбор данных, проведение анкетирования, формирование базы данных; А.Э. Исланов, М.Н. Шамуратов — обработка данных, написание программы для автоматического перевода данных согласно шкале VR-12. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Башкирского государственного медицинского университета (протокол заседания № 9 от 17.12.2021). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

Источники финансирования. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-22-18-20123.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы применены собственные данные оценки качества здоровья госпитализированных пациентов с COVID-19 в постковидный период, использованные при создании ранее опубликованной работы ([DOI: 10.25789/YMJ.2023.84.20], распространяется на условиях лицензии CC-BY 4.0).

Доступ к данным. Редакционная политика журнала по вопросам доступа к данным к настоящей работе неприменима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей рукописи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: I.A. Lakman: conceptualization, methodology, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; N.Sh. Zagidullin: conceptualization, methodology, writing—original draft, writing—review & editing; V.M. Timiryanova: investigation, formal analysis, writing—original draft; E.A. Badykova, P.A. Davtyan, D.F. Gareeva: investigation, data curation; A.E. Islanov, M.N. Shamuratov: data curation, software. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of Bashkir State Medical University (Protocol No. 9, December 17, 2021). All participants provided written informed consent, which had been approved by the Ethics Committee as part of the study protocol.

Funding sources: This study was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 22-22-18-20123.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: This article is based on the authors' own data on the post-COVID assessment of health status in hospitalized patients with COVID-19, which were also used in a previously published study ([DOI: 10.25789/YMJ.2023.84.20], distributed under the terms of the CC BY 4.0 license).

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Cabrera Martimbianco AL, Pacheco RL, Bagattini M, Riera R. Frequency, Signs and Symptoms, and Criteria Adopted for Long COVID-19: A Systematic Review. *International Journal of Clinical Practice*. 2021;75(10):e14357. doi: 10.1111/ijcp.14357 EDN: LTBXDT
- Melillo A, Perrotelli A, Caporusso E, et al. Research Evidence on the Management of the Cognitive Impairment Component of the Post-COVID Condition: A Qualitative Systematic Review. *European Psychiatry*. 2024;67(1):e60. doi: 10.1192/j.eurpsy.2024.1770 EDN: GUSIVE
- Huang L, Li X, Gu X, et al. Health Outcomes in People 2 Years After Surviving Hospitalisation with COVID-19: A Longitudinal Cohort Study. *The Lancet Respiratory Medicine*. 2022;10(9):863–876. doi: 10.1016/s2213-2600(22)00126-6 EDN: NGXAAD
- Pan J, Zhou K, Wang J, et al. Quality of Life and Mental Health Status in Recovered COVID-19 Subjects at Two Years after Infection in Taizhou, China: A Longitudinal Cohort Study. *Brain Sciences*. 2022;12(7):939. doi: 10.3390/brainsci12070939 EDN: ZPLEKU
- Dong C, Hu F., Ma Z, et al. Changes in Respiratory Sensitivity Status of Patients in a Hospital in Shanxi Province Before and After the COVID-19 Epidemic. *Journal of Asthma and Allergy*. 2025;18:339–348. doi: 10.2147/JAA.S497018
- Deesomchok A, Liwsrisakun C, Chaiwong W, et al. Long-Term Impacts of COVID-19 Pneumonia on Quality of Life: A Single Institutional Pilot Study. *Healthcare*. 2023;11(13):1963. doi: 10.3390/healthcare11131963 EDN: MWCCTW
- Akulova AI, Gaydukova IZ, Rebrov AP. Validation of the EQ-5D-5L Version in Russia. *Rheumatology Science and Practice*. 2018;56(3):351–355. doi: 10.14412/1995-4484-2018-351-355 EDN: UXBXMW
- Ware JE, Sherbourne CD. The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36). *Medical Care*. 1992;30(6):473–483. doi: 10.1097/00005650-199206000-00002
- Pompe Disease: Clinical Guidelines* [Internet]. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation; 2021 [cited 2025 Jul 23]. (In Russ.) Available from: <https://legalacts.ru/doc/klinicheskie-rekomendatsii-bolezni-pompe-utv-minzdravom-rossii/>
- Kazis LE, Miller DR, Clark JA, et al. Improving the Response Choices on the Veterans SF-36 Health Survey Role Functioning Scales. *Journal of Ambulatory Care Management*. 2004;27(3):263–280. doi: 10.1097/00004479-200407000-00010
- Kroenke K, Spitzer RL, Williams JBW. The PHQ-9. *Journal of General Internal Medicine*. 2001;16(9):606–613. doi: 10.1046/j.1525-1497.2001.016009606.x EDN: FPABNP
- Zolotareva AA. Diagnosis of Depression: Psychometric Examination of the Russian Version of the Patient Health Questionnaire (PHQ-9). *Clinical Psychology and Special Education*. 2024;12(4):107–121. doi: 10.17759/cpse.2023120406 EDN: GFNSYS
- Heesakkers H, van der Hoeven JG, van den Boogaard M, et al; the MONITOR-IC research group. Two-Year Physical, Mental and Cognitive Outcomes Among Intensive Care Unit Survivors Treated for COVID-19. *Intensive Care Medicine*. 2023;49(5):597–599. doi: 10.1007/s00134-023-07038-3 EDN: ICDVGA
- Lakman IA, Timiryanova VM, Agapitov AA, et al. Quality of Health of Hospitalized COVID-19 Patients in the Post-COVID Period: A Two-Year Follow-up. *Yakut Medical Journal*. 2023;84(4):82–88. doi: 10.25789/YMJ.2023.84.20 EDN: PJBJPI

15. Coca Perrailon M, Shih YCT, Thisted RA. Predicting the EQ-5D-3L Preference Index from the SF-12 Health Survey in a National US Sample. *Medical Decision Making*. 2015;35(7):888–901. doi: 10.1177/0272989X15577362
16. Maiba A, Dubitsky A; Astana Medical University. Changes in Health-Related Quality of Life after Coronavirus Infection (COVID-19) in Young People. *Astana Medical Journal*. 2024;2(121):23–28. doi: 10.54500/2790-1203-2024-2-121-23-28 EDN: DMCEHC
17. Usanova TA, Kulkov AA, Usanova AA, et al. Fatigue and Cognitive Impairment in Post-COVID-19 Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Modern Problems of Science and Education*. 2022;(3):121–121. doi: 10.17513/spno.31772 EDN: RPSIMN
18. Shen NP, Logvinenko VV, Tsiryatieva SB, et al. Preliminary outcomes of the COVID-19 pandemic: a new chronic pain profile. *Regional Anesthesia and Acute Pain Management*. 2022;16(3):171–183. doi: 10.17816/RA109668 EDN: NWECBQ
19. Lulic-Kuryllo T, Benedini M, Cogliati M, et al. Sex-Differences in the Longitudinal Recovery of Neuromuscular Function in COVID-19 Associated Acute Respiratory Distress Syndrome Survivors. *Frontiers in Medicine*. 2023;10:1185479. doi: 10.3389/fmed.2023.1185479 EDN: AHDQFZ
20. Heubner L, Petrick PL, Güldner A, et al. Extreme Obesity is a Strong Predictor for in-Hospital Mortality and the Prevalence of Long-COVID in severe COVID-19 Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome. *Scientific Reports*. 2022;12(1):18418. doi: 10.1038/s41598-022-22107-1 EDN: CLIDKX
21. Cozma A, Sitar-Tăut AV, Orășan OH, et al. The Impact of Long COVID on the Quality of Life. *Medicina*. 2024;60(8):1359. doi: 10.3390/medicina60081359 EDN: PLNEMU
22. Triantafyllou E, Tsellos P, Christodoulou N, et al. Quality of Life and Psychopathology in Different COVID-19 Pandemic Periods: A Longitudinal Study. *Psychiatriki*. 2024;35:199–210. doi: 10.22365/jpsych.2024.010 EDN: TSEGXY
23. Hajek A, König HH. Health-Related Quality of Life During the COVID-19 Pandemic and Beyond. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2024;122:105426. doi: 10.1016/j.archger.2024.105426 EDN: MIXFWF

ОБ АВТОРАХ

* **Лакман Ирина Александровна**, канд. техн. наук, доцент;
адрес: Россия, 450076, Уфа, ул. З. Валиди, д. 32;
ORCID: 0000-0001-9876-9202;
eLibrary SPIN: 4521-9097;
e-mail: Lackmania@mail.ru

Загидуллин Науфаль Шамилевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-2386-6707;
eLibrary SPIN: 5910-1156;
e-mail: znaufal@mail.ru

Тимирьянова Венера Маратовна, д-р экон. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-1004-0722;
eLibrary SPIN: 1449-1716;
e-mail: 79174073127@mail.ru

Бадыкова Елена Альбертовна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-8167-4271;
eLibrary SPIN: 6423-5847;
e-mail: lnurova@mail.ru

Давтян Паруйр Артакович;
ORCID: 0000-0002-5972-6418;
eLibrary SPIN: 8816-1568;
e-mail: davtyanparuir@yandex.ru

Гареева Диана Фирдавиевна, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-1874-8661;
eLibrary SPIN: 4542-3725;
e-mail: danika09@mail.ru

Исламов Альберт Эдуардович;
ORCID: 0009-0000-4596-598X;
e-mail: mr.islanov_albert@mail.ru

Шамуратов Мурат Нуриманович;
ORCID: 0009-0004-1194-2199;
e-mail: shamuratov.murat@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Irina A. Lakman**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
address: 32 Z. Validi st, Ufa, Russia, 450076;
ORCID: 0000-0001-9876-9202;
eLibrary SPIN: 4521-9097;
e-mail: Lackmania@mail.ru

Naufal Sh. Zagidullin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-2386-6707;
eLibrary SPIN: 5910-1156;
e-mail: znaufal@mail.ru

Venera M. Timiryanova, Dr. Sci. (Economics), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-1004-0722;
eLibrary SPIN: 1449-1716;
e-mail: 79174073127@mail.ru

Elena A. Badykova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-8167-4271;
eLibrary SPIN: 6423-5847;
e-mail: lnurova@mail.ru

Paruir A. Davtian;
ORCID: 0000-0002-5972-6418;
eLibrary SPIN: 8816-1568;
e-mail: davtyanparuir@yandex.ru

Diana F. Gareeva, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-1874-8661;
eLibrary SPIN: 4542-3725;
e-mail: danika09@mail.ru

Albert E. Islanov;
ORCID: 0009-0000-4596-598X;
e-mail: mr.islanov_albert@mail.ru

Murat N. Shamuratov;
ORCID: 0009-0004-1194-2199;
e-mail: shamuratov.murat@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author