

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 31, Issue 5, 2024

5

Том 31

2024

ЭКО • БЕКТОР

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 163069,
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: I.G. Shevchenko

Proofreader: I.G. Shevchenko

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: adv2@eco-vector.com

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

ISSN 1728-0869 (Print)

ISSN 2949-1444 (Online)

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 31 • Issue 5 • 2024

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), Professor associate

North State Medical University (Arkhangelsk, Russia)

ORCID iD: 0000-0001-8936-7324

Deputy Editor-in-Chief

Andrey B. Gudkov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID iD: 0000-0001-5923-0941

Igor B. Ushakov, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Moscow, Russia)

ORCID iD: 0000-0002-0270-8622

International editor

Jon Øyvind Odland, Professor (Norway)

ORCID iD: 0000-0002-2756-0732

Executive editor

Vitaly A. Postoev, MD, Cand. Sci. (Med) (Arkhangelsk, Russia)

ORCID iD: 0000-0003-4982-4169

EDITORIAL COUNCIL

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

Andrej M. Grjibovski, MD, PhD
(Arkhangelsk, Russia)
ORCID iD: 0000-0002-5464-0498

Rhonda Johnson, Professor (USA)
ORCID: 0000-0002-7730-7452

Vladimir A. Karpin, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Surgut, Russia)
eLibrary SPIN: 1860-8435

Valeriya I. Makarova, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-8150-9110
Scopus Author ID: 7005797378

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

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

Agneta Yngve, Professor (Sweden)
ORCID: 0000-0002-7165-279X

Canqing Yu, Professor (China)
ORCID: 0000-0002-0019-0014

Nina V. Zaytseva, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Perm, Russia)
ORCID: 0000-0003-2356-1145

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: 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: 163069, 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

ВИНИТИ

– Global Health

– CAB Abstracts

– ProQuest

– InfoBase Index

– КиберЛенинка

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

Литературный редактор: И.Г. Шевченко

Корректор: И.Г. Шевченко

Верстка: О.В. Устинкова

Сдано в набор 04.12.2024.

Подписано в печать 04.02.2025.

Выход в свет 17.02.2025.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ 5-1220-1v. Цена свободная.

Усл. печ. л. 9,8.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс B2B»

191180, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки,

д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1.

Тел.: +7 (812) 646 33 77

ПОДПИСКА:

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

OPEN ACCESS:

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

ОТДЕЛ РЕКЛАМЫ:

Тел.: +7 (968) 545 78 20

E-mail: adv2@eco-vector.com

Редакция не несёт ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции.

К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://hum-ecol.ru>

16+

Экология человека. 2024. Т. 31, № 5.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 31 • № 5 • 2024

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 iD: 0000-0001-8936-7324

Заместители главного редактора

Гудков Андрей Борисович, д-р мед. наук, профессор (Архангельск, Россия)

ORCID iD: 0000-0001-5923-0941

Ушаков Игорь Борисович, д-р мед. наук, профессор (Москва, Россия)

ORCID iD: 0000-0002-0270-8622

Международный редактор

Odland Jon Øyvind, профессор (Норвегия)

ORCID iD: 0000-0002-2756-0732

Ответственный секретарь

Постоев Виталий Александрович, канд. мед. наук (Архангельск, Россия)

ORCID iD: 0000-0003-4982-4169

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

Карпин Владимир Александрович, д.м.н.,
профессор (Сургут, Россия)
eLibrary SPIN: 1860-8435

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

Марьяндышев Андрей Олегович, д.м.н.,
профессор (Архангельск, Россия)
ORCID iD: 0000-0002-8485-5625

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

Yngve Agneta, профессор (Швеция)
ORCID: 0000-0002-7165-279X

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

CONTENTS

Reviews

T.M. Sivtseva, M.A. Stepanova, R.N. Zakharova, S.I. Semenov, V.L. Osakovsky

Intestinal microbiota of indigenous peoples of the North: a systematic review. 337

E.V. Baydakova, T.N. Unguryanu

Quantitative microbial risk assessment for drinking water-associated population 352

Original Study Articles

K.V. Shelygin, A.V. Strelkova, L.I. Lozhkina, S.I. Malyavskaya

Major dynamic and age-related characteristics of obesity morbidity in Arkhangelsk region population. 366

V.D. Shmeleva, L.V. Kislitsyna, O.B. Romanova, M.V. Alenitckaia, E.S. Pugacheva

Assessment of changes in hygienic indicators of drinking water from centralized water supply systems during transportation 380

M.I. Bocharov, A.S. Shilov

General and integral analysis of cardiac effects under acute hypoxia before and after intermittent hypoxic training in humans in Northern Russia 393

V.A. Alekseeva, A.B. Guryeva

Somatic characteristics of older women in Yakutsk 403

СОДЕРЖАНИЕ

Обзоры

Т.М. Сивцева, М.А. Степанова, Р.Н. Захарова, С.И. Семенов, В.Л. Осаковский

Кишечная микробиота коренных народов Севера (систематический обзор)..... 337

Е.В. Байдакова, Т.Н. Унгурияну

Метод количественной оценки микробиологического риска для населения, ассоциированного с питьевой водой 352

Оригинальные исследования

К.В. Шелыгин, А.В. Стрелкова, Л.И. Ложкина, С.И. Малявская

Основные динамические и возрастные характеристики заболеваемости ожирением населения Архангельской области. 366

В.Д. Шмелева, Л.В. Кислицына, О.Б. Романова, М.В. Аленицкая, Е.С. Пугачева

Оценка динамики гигиенических показателей питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки 380

М.И. Бочаров, А.С. Шилов

Общий и интегральный анализ кардиоэффектов на острую гипоксию до и после интервальных гипоксических тренировок у человека на Севере России 393

В.А. Алексеева, А.Б. Гурьева

Соматическая характеристика женщин старших возрастных групп Якутска..... 403

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634678>

Кишечная микробиота коренных народов Севера (систематический обзор)

Т.М. Сивцева, М.А. Степанова, Р.Н. Захарова, С.И. Семёнов, В.Л. Осаковский

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Микробиота коренного населения Севера может иметь важное значение в формировании полярного (северного) типа метаболизма, направленного на обеспечение повышенных энергетических потребностей и сохранение гомеостаза организма в экстремальных условиях холодного климата, однако эта область остаётся малоизученной. Секвенирование 16S рРНК бактерий позволяет установить полный таксономический состав микробного сообщества, что открывает перспективы для изучения связи микробиоты с условиями окружающей среды и формированием здоровья в разных популяциях.

Цель. На основе обзора литературных данных оценить факторы и принципы формирования микробиоты в экстремальных климатических условиях и её возможную роль в формировании здоровья у коренных народов Севера.

Материалы и методы. Систематический обзор проведён на основе рекомендаций PRISMA (2020 г.). Поиск источников оригинальных исследований осуществляли в базах данных PubMed, eLibrary и Google Scholar по ключевым словам: «микробиота кишечника», «Север», «gut microbiome», «16S rRNA», «Arctic».

Результаты. После фильтрации результатов первичного отбора статей в соответствии с критериями поиска было выявлено 5 публикаций, в которых представлены результаты исследования 16S рРНК кишечной микробиоты канадских инуитов, коренных жителей Аляски, якутов Республики Саха (Якутия). Кишечная микробиота представителей народов, проживающих в условиях Севера, отличается по разнообразию и таксономическому составу как от других групп населения, так и между собой. Несмотря на имеющееся сходство климатических условий и типа питания, различия в традиционных занятиях, рационе и видах окружающих животных находят отражение в составе микробиоты разных популяций Севера.

Заключение. Проведённые к настоящему времени исследования недостаточны для формирования цельного представления о северном микробиоме и его роли в сохранении здоровья коренных народов Севера. Тем не менее показано, что состав кишечной микробиоты популяций Севера разнообразен и имеет черты, благоприятные для метаболического здоровья, что требует дальнейшего изучения для выявления механизмов формирования метаболического здоровья в условиях холодного климата.

Ключевые слова: кишечный микробиом; 16S рРНК; Север; адаптация; холод; инуиты; якуты; саха.

Как цитировать:

Сивцева Т.М., Степанова М.А., Захарова Р.Н., Семёнов С.И., Осаковский В.Л. Кишечная микробиота коренных народов Севера (систематический обзор) // Экология человека. 2024. Т. 31, № 5. С. 337–351. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634678>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634678>

Intestinal microbiota of indigenous peoples of the North: a systematic review

Tatyana M. Sivtseva, Michiye A. Stepanova, Raisa N. Zakharova,
Sergei I. Semenov, Vladimir L. Osakovsky

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The microbiota of the indigenous population of the North may play a pivotal role in the development of the polar (northern) type of metabolism supporting increased energy demands and maintaining body homeostasis in extreme cold climates. However, this area remains relatively understudied. Sequencing of bacterial 16S rRNA allows for establishing the full taxonomic composition of microbial communities, thereby facilitating novel insights into the interplay between microbiota, environmental conditions, and the formation of health in different populations.

AIM: The aim of this review is to evaluate the factors and principles of microbiota development in extreme climatic conditions and its potential impact on health in the indigenous peoples of the North.

MATERIALS AND METHODS: A systematic review was conducted based on the 2020 PRISMA guidelines. Original studies were searched for across the PubMed, eLibrary, and Google Scholar databases using Russian keywords “микробиота кишечника” (“intestinal microbiota”), “Север” (“North”), and English “gut microbiome,” “16S rRNA,” and “Arctic.”

RESULTS: Having filtered the results of the primary selection of articles in accordance with the search criteria, five publications were identified that presented the results of intestinal microbiota 16S rRNA studies in Canadian Inuit, Alaska Natives, and Yakuts of the Sakha Republic (Yakutia). The intestinal microbiota of native residents of the North differs is characterized by inter- and intra-population variability in the diversity and taxonomic composition. Despite similar climatic conditions and dietary patterns, microbiota composition of different Northern populations reflects differences in traditional activities, dietary habits, and surrounding animals.

CONCLUSION: Results of available studies are insufficient to form a comprehensive understanding of the northern microbiome and its role in maintaining the health of the indigenous peoples of the North. Nevertheless, the composition of the intestinal microbiota of the northern populations is shown to be diverse and favorable for the metabolic health; further studies are required to identify the mechanisms of the metabolic health formation in cold climate conditions.

Keywords: gut microbiome; 16S rRNA; North; adaptation; cold; Inuit; Yakut; Sakha.

To cite this article:

Sivtseva TM, Stepanova MA, Zakharova RN, Semenov SI, Osakovsky VL. Intestinal microbiota of indigenous peoples of the North: a systematic review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):337–351. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634678>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634678>

北方原住民的肠道微生物群（系统综述）

Tatyana M. Sivtseva, Michiye A. Stepanova, Raisa N. Zakharova,
Sergei I. Semenov, Vladimir L. Osakovsky

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

摘要

背景。北方原住民的肠道微生物群可能在形成极地（北方）代谢类型中具有重要作用。这种代谢类型旨在满足高能量需求并在寒冷气候的极端条件下维持机体稳态。然而，该领域的研究仍然十分有限。通过16S rRNA细菌测序可以揭示微生物群的完整分类组成，为研究微生物群与环境条件的关系以及不同群体健康状况的形成机制提供了前景。

研究目的。基于文献数据综述，评估在极端气候条件下形成肠道微生物群的因素与原则，并分析其在北方原住民健康维持中的潜在作用。

材料与方法。本系统综述遵循PRISMA（2020年）指南。研究人员通过关键词“肠道微生物群”、“北方”、“gut microbiome”、“16S rRNA”、“Arctic”，在PubMed、eLibrary和Google Scholar数据库中搜索相关原始研究文献。

结果。通过筛选符合搜索标准的文章，共发现5篇文献。这些文献涵盖了加拿大因纽特人、阿拉斯加原住民以及萨哈共和国（雅库特）雅库特人肠道微生物群的16S rRNA研究结果。结果表明，居住在北方地区的原住民的肠道微生物群在多样性和分类组成上不仅与其他人群不同，也因各自的传统活动、饮食结构和动物资源的差异而彼此不同。尽管气候条件和饮食类型存在一定相似性，这些差异仍显著。

结论。目前的研究不足以全面了解北方原住民的肠道微生物群及其在健康维持中的作用。然而，现有文献表明，北方原住民的肠道微生物群具有多样性，并具备有利于代谢健康的特征。这一发现表明，需要进一步研究，以揭示寒冷气候条件下代谢健康形成的潜在机制。

关键词：肠道微生物群；16S rRNA；北方；适应；寒冷；因纽特人；雅库特人；萨哈。

引用本文：

Sivtseva TM, Stepanova MA, Zakharova RN, Semenov SI, Osakovsky VL. 北方原住民的肠道微生物群（系统综述）. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):337–351. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634678>

收到: 29.07.2024

接受: 07.11.2024

发布日期: 03.01.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Связь между состоянием кишечной микробиоты, условиями окружающей среды и здоровьем человека в последние годы активно изучается благодаря развитию современных методов секвенирования 16S рРНК бактерий. Исследования показали, что наибольшее влияние на разнообразие и состав бактерий кишечника оказывают особенности питания, условия проживания и этнос [1–4]. Основой таких взаимосвязей служат метаболические пути, формируемые сложным функциональным взаимодействием микробного сообщества, регуляторными системами организма хозяина и окружающей среды.

Основными субстратами метаболизма микроорганизмов толстого кишечника являются устойчивые и плохо усвоенные тонким кишечником сложные полисахариды и белки. В результате анаэробной ферментации простых углеводов, образующихся при гидролизе различных полисахаридов, производятся короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК), такие как ацетат, пропионат и бутират, первый из которых является наиболее массовым продуктом кишечной микробиоты. КЦЖК играют важную роль в поддержании барьерной функции кишечника и используются в качестве источника энергии [5]. Наиболее изучен положительный эффект бутирата, обладающего противовоспалительными, антиоксидантными и противоопухолевыми свойствами. Ацетат менее изучен, но известно, что он используется как метаболит для других тканей организма и положительно влияет на защитные функции кишечника [6]. Кишечной микробиотой могут вырабатываться и вредные продукты, например, при анаэробной ферментации белков из аминокислот могут образовываться фенол, сероводород, изомасляная и изовалерьяновая кислоты. Из метаболитов ферментации жирных кислот с разветвленной цепью также вырабатываются вещества, способные негативно влиять на здоровье хозяина и вызывать язвы, колиты, рак [7].

В эпоху, когда во всём мире наблюдаются процессы глобализации, большой интерес вызывает исследование микробиоты популяций, сохраняющих традиционное питание и образ жизни [8]. Например, исследования населения Буркина-Фасо, Танзании, Мексики и Венесуэлы показали более разнообразную микробиоту по сравнению с индустриальными западными популяциями [9–12]. В условиях холодного климата у коренных народов Севера сложился полярный (северный) тип метаболизма, основанный на преобладании в пище белков и липидов, направленный на обеспечение повышенных энергетических потребностей и термогенеза [13, 14]. Несмотря на глобальные изменения, традиционное питание и образ жизни всё ещё занимают существенную нишу в жизни северных народов и, несомненно, микробиота, формируемая в таких условиях, имеет особенности, отличающие её от микробиоты других популяций и оказывающие влияние на состояние здоровья.

Цель исследования. На основе обзора литературных данных оценить факторы и принципы формирования микробиоты в экстремальных климатических условиях и её возможную роль в формировании здоровья у коренных народов Севера.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведён систематический обзор литературы по ScR-методологии (scoring review) на основе рекомендаций PRISMA [15]. Поиск источников проводили по ключевым словам в базах данных eLibrary, Pubmed, Google Scholar. Ключевыми словами для источников на русском языке являлись «микробиота» и «Север»; на английском языке для базы Pubmed «gut microbiome», «Arctic» OR «gut microbiome», «inuit», для Google Scholar — на русском языке «микробиота кишечника», «Север», на английском языке «gut microbiome», «16S rRNA», «indigenous people», «Arctic». Авторы независимо друг от друга изучали заголовки и аннотации публикаций на соответствие критериям включения, возникшие разногласия решали путём переговоров. Также проведён ручной поиск дополнительных источников по теме в списках литературы найденных статей.

Критерии включения источников в систематический обзор следующие: 1) язык: русский, английский; 2) исследуемая популяция: коренные жители Севера и Арктики (инуты, якуты, другие народы, относящиеся к коренным народам Севера); 3) возраст исследуемых старше 18 лет; 4) оригинальные исследования микробиоты кишечника; 5) метод исследования: секвенирование 16S рРНК бактерий. Критерии исключения: исследования кишечного микробиома животных, детей, обзорные статьи. Последний поиск осуществлялся 22 апреля 2024 г.

При первичном отборе с использованием вышеописанных поисковых запросов было получено 13 публикаций из базы данных eLibrary, 29 публикаций — из базы PubMed с применением фильтра Humans, 1170 результатов при запросе на русском языке и 14 700 результатов при запросе на английском языке — из базы данных Google Scholar. После анализа заголовков и аннотаций были исключены повторяющиеся публикации и публикации, несоответствующие критериям включения. После фильтрации осталось 5 источников. Этапы процесса отбора статей представлены на рис. 1.

Таксономия микроорганизмов в статье приведена в соответствии с последней версией таксономической базы данных Национального центра биотехнологической информации NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>). В скобках указаны ранние версии названий таксонов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящее время исследования микробиоты кишечника коренного населения Севера немногочисленны:



Рис. 1. Блок-схема процесса отбора статей.
Fig. 1. Flow chart of articles selection procedure.

опубликованы результаты анализов 16S рРНК канадских инуитов, коренных жителей Аляски и якутов (табл. 1).

В работе С. Girard и соавт. представлен анализ микробиоты небольшой группы инуитов из арктического региона Канады Нунавут в сравнении с представителями европеоидной расы, проживающими в Монреале в умеренной широте Канады [16]. Инуиты в основном придерживались традиционного питания (употребляли каждый день такие продукты, как арктический голец, мясо северного оленя, морских млекопитающих, сырую дичь), тогда как европейцы из Монреаля придерживались западной диеты. Полученные результаты показали, что по уровню разнообразия и представленности таксонов структура кишечной микробиоты жителей Нунавута и Монреаля была схожа и близка к другим западным популяциям, при этом сильно отличаясь от жителей Буркина-Фасо, Танзании и Венесуэлы, придерживающихся традиционного образа жизни.

Для обнаружения биомаркеров микробиоты инуитов Нунавута авторами использовался линейный дискриминантный анализ, который выделил следующие таксоны:

представители типа *Bacillota* (ранее *Firmicutes*) — семейство *Lachnospiraceae*, ферментирующие полисахариды до КЦЖК и род *Peptococcus*, метаболизирующие пептон и аминокислоты с образованием жирных кислот, синтезирующие сероводород, уксусную, молочную, лимонную, изовалериановую и другие кислоты; представители типа *Bacteroidota* (ранее *Bacteroidetes*) — порядок *Bacteroidales*; малоизученные представители типа *Pseudomonadota* (ранее *Proteobacteria*) — класса *Betaproteobacteria* и рода *Bilophila*, вырабатывающие сероводород из таурина; типа *Cyanobacteriota*. Представители *Lachnospiraceae*, *Betaproteobacteria* и *Bilophila* были также идентифицированы как биомаркеры диеты инуитов. Авторы выявили различия между двумя популяциями на уровне штаммов. Так, представители рода *Prevotella* (тип *Bacteroidota*) присутствовали в выборке как Монреаля, так и Нунавута, но с западной диетой были связаны 7 операционных таксономических единиц — operational taxonomic unit (OTU), а с диетой инуитов — только 1. Различия также выявлены среди OTU в пределах рода *Akkermansia* (тип

Таблица 1. Исследования кишечной микробиоты в популяциях коренных жителей Севера
Table 1. Studies of gut microbiota in populations of indigenous peoples of the North

Северная популяция, n Northern population, n	Популяция сравнения, n Comparison population, n	Источник Source
Инуиты Канады Inuit of Canada, n=19	Европейцы Монреаля Europeans of Montreal, n=26	[16]
Инуиты Канады Inuit of Canada, n=15	Европейцы Монреаля Europeans of Montreal, n=9	[17]
Инуиты Канады Inuit of Canada, n=275	Непромышленный Non-industrial, n=73 Индустриальный Industrial, n=104	[18]
Коренные жители Аляски Alaska natives, n=32	Сельские жители Африки, n=21 Rural people of Africa, n=21	[20]
Якуты, Российская Федерация, n=11 (здоровые) Yakuts, Russian Federation, n=11 (healthy)	Жители Москвы, n=101 Residents of Moscow, n=101	[22]

Verrucomicrobiota, ранее *Verrucomicrobia*), который представлен в обеих популяциях.

В следующем исследовании была поставлена задача изучить изменения микробиоты кишечника инуитов из этого же региона Канады в течение года [17]. Таксономический состав инуитской микробиоты в данном случае отличался от предыдущих результатов. Тем не менее некоторые таксоны соответствовали ранее выявленным. В качестве маркеров инуитской микробиоты в этом исследовании выделены представители типа *Bacillota* (ранее *Firmicutes*): порядка *Erysipelotrichales*, связанные с липидным обменом; родов *Megasphaera* — продуценты КЦЖК; *Eubacterium*, *Lactobacillus*, *Peptococcus* с широким спектром метаболических функций; представители типа *Bacteroidota* (ранее *Bacteroidetes*): порядка *Bacteroidales* и рода *Prevotella*, также продуцирующие КЦЖК; представители типа *Actinomycetota* (ранее *Actinobacteria*): семейства *Bifidobacteriaceae* — продуценты лактата, поддерживающие кишечный барьер, порядка *Coriobacteriales*, выполняющие в кишечнике функции преобразования жёлчных солей и стероидов, а также активирующие пищевые полифенолы; представители типа *Fusobacteriota* (ранее *Fusobacteria*): порядка *Fusobacteriales* — продуценты масляной кислоты и другие.

Явных изменений со сменой сезонов в микробиомах участников из Нунавута или Монреалья не наблюдалось. Внутрииндивидуальное микробное разнообразие в Нунавуте колебалось сильнее, чем в Монреале, что соответствует более разнообразному и высоко индивидуализированному рациону питания в Нунавуте. При этом показано, что более разнообразные микробиомы имеют тенденцию к стабильному составу в течение времени. В работе выявлено, что традиционные продукты (сырая рыба, сырое мясо дичи и ферментированное мясо) оказывали влияние на состав микробиомного сообщества у инуитов. По результатам двух исследований авторы отмечают, что изменения в сторону западной диеты, наблюдаемые у инуитов, способствуют снижению разнообразия и сглаживанию сезонных изменений микробиома [17].

Кишечная микробиота молодых инуитов Нунавика, другой северной провинции Канады, была исследована в работе J.Y. Abed и соавт. [18]. Участники исследования также употребляли такие традиционные продукты питания, как морские и наземные млекопитающие, рыба, моллюски, дикие птицы и растения. Полученные данные анализировались в сравнении с промышленными и непромышленными группами, отобранными из MetagenomicData R [19]. Было выявлено, что инуиты Нунавика имели однородный микробиом, о чём свидетельствует низкое межиндивидуальное разнообразие, но при этом выявлялся высокий уровень внутрииндивидуального разнообразия.

Показано, что содержание геномного микробиома нунавикских инуитов отличается от других ранее изученных популяций, в том числе инуитов Нунавута. Авторы отмечают, что, несмотря на преобладание в рационе

инуитов Нунавика продуктов животного происхождения, в их микробиоме доминировали бактерии, которые обладали сахаролитическими свойствами и производили КЦЖК, в основном бутират. Другими продуктами метаболизма микробиома инуитов являлись ацетат и пропионат. Два вида бактерий *Ruminococcus bromii* и *Bifidobacterium adolescentis* использовали крахмал в качестве источника энергии, разлагая его до ацетата и лактата. Также среди основных метаболических путей в метабеномах инуитов представлен биосинтез аминокислот: L-изолейцина из треонина, L-валина, предшественников фенилаланина, триптофана, тирозина и фолатов. Авторы предполагают, что ферментация белка (в диете) также может значительно влиять на структуру сообщества в микробиоме кишечника Нунавика. В целом отмечается, что таксономические и функциональные особенности указывают на способность микробиома кишечника инуитов к адаптации и поддержанию здоровья хозяина. Несмотря на то что определить здоровый или устойчивый микробиом сложно, некоторые характеристики, обнаруженные в микробиоме кишечника Нунавика, такие как высокое внутрииндивидуальное разнообразие, доминирование бактерий-продуцентов КЦЖК (в первую очередь, бутирата), и потенциальная способность микробиоты восстанавливаться после стрессовых факторов окружающей среды (например, антибиотиков) способствуют сохранению гомеостаза организма и улучшению состояния здоровья в условиях Арктики.

В 2020 г. проведено исследование кишечной микробиоты коренных жителей Аляски в сравнении с сельскими жителями Африки в связи с высоким риском у первых колоректального рака [20]. Было показано, что здоровые жители Аляски имеют меньшее внутрииндивидуальное разнообразие (альфа-разнообразие) микробиоты по сравнению с сельскими жителями Южной Африки. На уровне типов отмечалось повышение содержания *Actinomycetota* (ранее *Actinobacteria*) и *Verrucomicrobiota* (ранее *Verrucomicrobia*). Семейства сахаролитических бактерий *Oscillospiraceae* (ранее *Ruminococcaceae*) и *Prevotellaceae* имели пониженный уровень, а *Lachnospiraceae* (за счёт родов *Blautia* и *Lachnoclostridium*) — повышенный. В кишечнике жителей Аляски также широко представлены роды *Escherichia*, *Shigella* и *Bifidobacterium*. Выявлено, что основными кишечными метаболитами, присутствующими в большем количестве у жителей Аляски, были холин и формиат, в то время как у жителей Африки наблюдалось большее разнообразие сетей метаболических реакций. У жителей Аляски выявлено высокое содержание 7α-дегидроксилирующих бактерий, участвующих в трансформации жёлчных кислот и образовании вторичных жёлчных кислот, что способствует поддержанию здорового состояния кишечника и снижению риска метаболических нарушений [21].

Среди коренных северных народов России исследование микробиоты кишечника проведено в небольшой

группе представителей якутского этноса [22]. Якуты проживают на обширной территории северо-востока России в условиях экстремального резко-континентального климата и, в отличие от коренных жителей Северной Америки, являются главным образом скотоводами, разводят крупный рогатый скот и лошадей. Значительную роль в традиционном образе жизни занимают также охота и рыболовство. Основой рациона якутской кухни являются разнообразные молочные продукты, мясо домашних и диких животных, озёрная рыба. В результате пилотного исследования фекалий 11 здоровых представителей якутского населения было показано, что микробиота кишечника якутов отличается от микробиоты жителей Москвы по уровню разнообразия и структуре таксономического состава. Внутрииндивидуальное разнообразие было статистически значимо выше у якутов, чем у жителей мегаполиса. В микробиоте якутов отмечен повышенный уровень 11 родов и сниженный уровень 9 родов микроорганизмов. В якутских образцах доминирующим типом являлся *Bacillota* (ранее *Firmicutes*), доля которого составила 79%, а соотношение *Bacillota* (*Firmicutes*) и *Bacteroidota* (*Bacteroidetes*) составило 9,4 к 1,0. На уровне типов также выявлено значимое повышение доли представителей типа *Actinomycetota* (ранее *Actinobacteria*). Среди представителей *Bacillota* (ранее *Firmicutes*) выявлено повышение уровня бактерий порядка *Erysipelotrichales*, семейства *Coprobacillaceae* (у якутов представлены *Catenibacterium*), которые связаны с иммунностью, однако их роль не ясна. Также выявлены продуценты активных целлюлаз — бактерии семейства *Oscillospiraceae* (ранее *Ruminococcaceae*) и дегранты растительного материала — представители семейства *Lachnospiraceae* (род *Blautia*), также активно ферментирующие жиры. Оптимальное сочетание этих бактерий способствует регулированию углеводного обмена и снижению риска метаболических нарушений. Анаэробные условия в кишечнике поддерживаются также присутствием доли факультативно аэробных бактерий типа *Actinomycetota* (ранее *Actinobacteria*): рода *Bifidobacterium* и семейства *Coriobacteriaceae*, поглощающих кислород, поступающий из крови.

Стоит отметить ряд особенностей микробиоты якутов. В частности, выявлен нетипичный представитель семейства *Lactobacillaceae* с весьма уникальным иммуномодулирующим и пробиотическим свойством — *Ligilactobacillus ruminis* (ранее *Lactobacillus ruminis*), полностью отсутствующий у москвичей. *L. ruminis* подавляет патогенную флору за счёт выработки молочной кислоты и снижения pH среды [23]. Исследования показали, что штаммы *L. ruminis* способны модулировать иммунный ответ, снижая уровень некоторых провоспалительных цитокинов и повышая уровень IL8 и NF-kB. В экспериментах *L. ruminis* значительно увеличил разнообразие микробиоты кишечника у мышей [24]. Кроме того, секреция ими фермента лактазы ослабляет лактозную непереносимость,

генетически выявляемую у якутов [25].

В микробиоте якутов был обнаружен непатогенный вид *Treponema succirificiens*, распространённый в сельскохозяйственных популяциях с традиционным укладом жизни и, как правило, связанный с переносом от животных [26]. Этот вид бактерий отличается наличием фермента пируват-формилатлиазы, с помощью которого окисляет пируват до ацетил-CoA и формиата. При этом используются взаимоотношения с другими комменсальными видами бактерий, разлагающими растительные волокна. *T. succirificiens* очень чувствителен к антибиотикам и потому отсутствуют у городских жителей. Эти особенности свидетельствуют о благотворном влиянии традиционного скотоводческого образа жизни на микробиоту современных коренных жителей Якутии.

Выявленные особенности разнообразия и состава микробиоты коренных народов Севера приведены в табл. 2.

ОБСУЖДЕНИЕ

Микробиота в условиях холодового стресса

Экологическая ниша проживания и биоценотические связи с окружающей средой, несомненно, оказывают модулирующее действие на базовый состав микробиоты кишечника. В условиях холода происходит перестройка метаболических путей для поддержания термогенеза, в котором микробиота кишечника играет важную роль. Проведённый обзор показал, что микробиота кишечника населения северных территорий недостаточно изучена. Однако в последние годы осуществлены экспериментальные работы на лабораторных животных, позволяющих понять принципы взаимодействия микробиоты с организмом хозяина при холодовом стрессе [27–29]. В работе С. Chevalier и соавт. [27] показано, что холодовая экспозиция мышей для развития толерантности к холоду сопровождается сдвигом таксономического состава микробиоты в сторону обогащения микробами типа *Bacillota* (ранее *Firmicutes*) на фоне снижения уровня *Bacteroidota* (ранее *Bacteroidetes*) и резкого уменьшения численности рода *Akkermansia* — представителя типа (тип *Verrucomicrobiota*, ранее *Verrucomicrobia*) [27]. Повышение численности типа *Bacillota* (ранее *Firmicutes*) за счёт *Bacteroidota* (ранее *Bacteroidetes*) при воздействии холода показано и в других работах на грызунах [28, 29]. Участие микробиоты в приспособлении к холоду подтверждается и экспериментами по трансплантации микробиоты адаптированных к холоду мышей (получившее название «холодовая микробиота»), которая способствует развитию толерантности к холоду контрольных мышей [27, 29].

Холодовая микробиота усиливает продукцию и расход тепловой энергии за счёт нескольких механизмов. Во-первых, в условиях длительной экспозиции на холоде и при пересадке холодовой микробиоты увеличивается

Таблица 2. Особенности микробиома коренных народов Севера в сравнении с другими популяциями**Table 2.** Features of the microbiome of indigenous peoples of the North in comparison with other populations

Популяция Population	Разнообразие микробиома Microbiome diversity	Особенности Features	Наиболее значимые биомаркеры (топ-5) и их таксономическая принадлежность: домен; тип; класс; порядок; семейство; род The most significant biomarkers (top 5) and their taxonomic affiliation: domain; type; class; order; family; genus	Источник Source
Инуиты Нунавута Канады Inuit Nunavut of Canada	Нет различий с микро- биотой европейцев Монреаля There are no differ- ences with the micro- biota of Europeans in Montreal	Схожесть структуры микробных сообществ инуитов Нунавута и жителей Монреаля. Выявле- ние некоторых малоизученных таксонов у инуитов. Различия в разнообразии штаммов The similarity of the structure of the microbial communities of the Inuit of Nunavut and the inhabitants of Montreal. Identification of some poorly studied Inuit taxa. Differences in the diversity of strains	– <i>Bacteria; Bacillota; Clostridia;</i> <i>Lachnospirales; Lachnospiraceae;</i> – <i>Bacteria; Bacteroidota; Bacteroidia;</i> <i>Bacteroidales; Muribaculaceae;</i> – <i>Bacteria; Pseudomonadota;</i> <i>Betaproteobacteria;</i> – <i>Bacteria; Pseudomonadota;</i> <i>Betaproteobacteria; Burkholderiales;</i> – <i>Bacteria; Pseudomonadota;</i> <i>Betaproteobacteria; Burkholderiales;</i> <i>Sutterellaceae; Sutterella;</i>	[16]
Инуиты Нунавута Канады Inuit Nunavut of Canada	Нет различий с микро- биотой европейцев Монреаля There are no differ- ences with the micro- biota of Europeans in Montreal	Традиционные пищевые продукты инуитов влияют на состав микробиома Traditional Inuit foods affect the composition of the microbiome	– <i>Bacteria; Bacteroidota; Bacteroidia;</i> <i>Bacteroidales; Muribaculaceae;</i> – <i>Bacteria; Actinomycetota;</i> <i>Actinomycetes; Bifidobacteriales;</i> <i>Bifidobacteriaceae;</i> – <i>Bacteria; Bacillota; Bacilli;</i> – <i>Bacteria; Bacillota; Negativicutes;</i> <i>Veillonellales; Veillonellaceae;</i> <i>Megasphaera;</i> – <i>Bacteria; Bacteroidota; Bacteroidia;</i> <i>Bacteroidales; Prevotellaceae; Prevotella</i>	[17]
Инуиты Нунавика (Квебек) Канады Inuit of Nunavik (Quebec) Canada	Внутрииндивидуаль- ное разнообразие микробиома ки- шечника Нунавика значительно выше, чем в непромышлен- ных и промышленных группах сравнения Within the individual diversity of the Nunavik gut microbiome is significantly higher than in non-industrial and industrial comparison groups	Микробиом инуитов отлича- ется от других индустриальных и неиндустриальных популя- ций. Доминирование в струк- туре микробиома бактерий, продуцирующих короткоцепо- чные жирные кислоты The Inuit microbiome dif- fers from other industrial and non-industrial populations. The dominance of bacteria produc- ing short-chain fatty acids in the structure of the microbiome	– <i>Bacteria; Actinomycetota;</i> <i>Coriobacteriia; Coriobacteriales;</i> <i>Coriobacteriaceae; Enorma;</i> – <i>Bacteria; Bacteroidota; Bacteroidia;</i> <i>Bacteroidales; Prevotellaceae; Prevotella;</i> – <i>Bacteria; Bacillota; Erysipelotrichia;</i> <i>Erysipelotrichales; Erysipelotrichaceae;</i> <i>[Clostridium] innocuum;</i> – <i>Bacteria; Bacillota; Clostridia;</i> <i>Eubacteriales; Oscillospiraceae;</i> <i>Flavonifractor;</i> – <i>Bacteria; Bacillota; Clostridia;</i> <i>Lachnospirales; Lachnospiraceae;</i> <i>Enterocloster</i>	[18]
Коренные жители Аляски Alaska Natives	Более низкое раз- нообразие у жителей Аляски по сравнению с сельскими жителями Африки Alaska natives have lower diversity com- pared to rural Africans	Повышенный уро- вень <i>Actinomycetota</i> (ранее <i>Actinobacteria</i>) и <i>Verrucomicrobiota</i> (ранее <i>Verrucomicrobia</i>). Низкий уровень сахаролитических бактерий и более высокая микробная способность к пре- вращению желчных кислот Elevated levels of <i>Actinomyce-</i> <i>tota</i> (formerly <i>Actinobacteria</i>) and <i>Verrucomicrobiota</i> (formerly <i>Verrucomicrobia</i>). Low levels	– <i>Bacteria; Bacillota; Clostridia;</i> <i>Lachnospirales; Lachnospiraceae;</i> – <i>Bacteria; Bacillota; Clostridia;</i> <i>Lachnospirales; Lachnospiraceae;</i> <i>Blautia;</i> – <i>Bacteria; Bacillota; Clostridia;</i> <i>Lachnospirales; Lachnospiraceae;</i> <i>Lachnoclostridium;</i> – <i>Bacteria; Actinomycetota;</i> <i>Actinomycetes; Bifidobacteriales;</i> <i>Bifidobacteriaceae;</i> <i>Bifidobacterium;</i> – <i>Bacteria; Pseudomonadota;</i>	

Окончание таблицы 2 | End of the Table 2

Популяция Population	Разнообразие микробиома Microbiome diversity	Особенности Features	Наиболее значимые биомаркеры (топ-5) и их таксономическая принадлежность: домен; тип; класс; порядок; семейство; род The most significant biomarkers (top 5) and their taxonomic affiliation: domain; type; class; order; family; genus	Источник Source
		of saccharolytic bacteria and a higher microbial ability to convert bile acids	<i>Gammaproteobacteria; Enterobacterales; Enterobacteriaceae; Escherichia-Shigella</i>	[20]
Якуты Российской Федерации Yakuts of the Russian Federation	Внутрииндивидуальное разнообразие микробиома здоровых якутов выше, чем у жителей Москвы The intraindividual diversity of the microbiome of healthy Yakuts is higher than that of residents of Moscow	Микробиота якутов отличается от микробиоты инуитов и жителей центральной России. Высокое соотношение <i>Bacillota</i> (<i>Firmicutes</i>) и <i>Bacteroidota</i> (<i>Bacteroidetes</i>). Повышенный уровень типа <i>Actinomyces</i> (<i>Actinobacteria</i>) The microbiota of the Yakuts differs from the microbiota of the Inuit and the inhabitants of central Russia. High ratio of <i>Bacillota</i> (<i>Firmicutes</i>) and <i>Bacteroidota</i> (<i>Bacteroidetes</i>). Elevated levels of <i>Actinomyces</i> type (formerly <i>Actinobacteria</i>)	– <i>Bacteria; Bacillota; Erysipelotrichia; Erysipelotrichales; Coprobacillaceae; Catenibacterium; – Bacteria; Bacillota; Bacilli; Lactobacillales; Lactobacillaceae; Lactobacillus; – Bacteria; Actinomyces; Coriobacteriia; Coriobacteriales; Coriobacteriaceae; – Bacteria; Bacillota; Clostridia; Eubacteriales; Oscillospiraceae; Ruminococcus; – Bacteria; Bacillota; Clostridia; Lachnospirales; Lachnospiraceae</i>	[22]

абсорбционная поверхность эпителиального слоя тонкого кишечника за счёт физиологического удлинения и утолщения размера кишечника и увеличения длины ворсинок [27, 29]. Увеличение объёма и поверхности поглощающей способности кишечника способствует большому наполнению неусвоенными устойчивыми сложными органическими соединениями, являющимися субстратом для ферментации микробами и продукции метаболитов, необходимых для синтеза энергоносителя (жира). Во-вторых, существует конкуренция за потребление энергетических субстратов между микробами и тканями организма хозяина. При адаптации к холоду удаляются бактерии — активные потребители энергетических ресурсов (в виде КЦЖК, которые могут обеспечить 5–10% потребности человека в энергии) [30]. Примером является удаление микроба *g. Akkermansia* как активного потребителя энергии, что способствует максимальной мобилизации энергетических ресурсов для обеспечения термогенеза в процессе формирования толерантности к холоду у мышей. В-третьих, сопоставление метагеномных чтений холодовой микробиоты мышей с каталогом генов кишечной микрофлоры показывает, что микробиота помогает своим хозяевам противостоять экстремальным температурам, регулируя путь инсулина хозяина [29]. Кроме того, показано, что при адаптации мышей к холоду микробиота способствует приобретению белой жировой ткани фенотипа бурой жировой ткани с повышенной генерацией тепловой энергии [31–34]. Другим аспектом, регулирующим энергетику хозяина и термогенез во время

акклиматизации к холоду, является взаимодействие микробиоты, кишечника и мозга, которое опосредуется через биосинтез нейротрансмиттеров [28]. КЦЖК также могут служить сигнальными молекулами, воздействуя на рецепторы, отвечающие за регуляцию аппетита, терморегуляцию и энергетический гомеостаз [35]. Адаптация человека к воздействию продолжительного холода на Севере, вероятно, также сопровождается биохимическими и физиологическими реакциями, связанными с таксономическими изменениями состава микробиоты. Не исключается, что они определяют специфические черты фенотипа коренного населения Севера.

Влияние на микробиоту рациона питания и образа жизни на Севере

На состав микробиоты кишечника человека, помимо климатических условий, воздействуют такие ключевые факторы, как питание и образ жизни. Это хорошо прослеживается у этносов, проживающих в сравнительно схожих природно-климатических условиях Севера. Таксономическая структура микробиоты толстого кишечника представителя якутского этноса формировалась традиционным укладом жизни животноводства, основным источником питания которого являются травоядные животные — крупный рогатый скот (коровы) и лошади. В современном рационе якутов присутствует большое количество простых углеводов. Преобладающий в микробиоме якутов тип *Bacillota* (ранее *Firmicutes*) представляет самый широкий спектр микробов, общим свойством которых является

клеточная стенка грамположительного типа и способность ферментировать как целлюлозу, так и сложные некрахмалистые полисахариды. Субстратная специфичность и различие продуктов ферментации зависят от рода и вида микроба. Часто встречающиеся в исследованной группе якутов бактерии семейства *Ruminococcaceae* известны тем, что расщепляют целлюлозу растений и анаэробно ферментируют глюкозу в основном до ацетата, а также пропионата и бутирата. Другое распространённое семейство *Lachnospiraceae*, в которое входят роды *Blautia*, *Dorea*, также метаболизирует глюкозу и другие углеводы, однако не продуцирует бутират. Представитель семейства *Coprobacillaceae* бактерия *Catenibacterium* показывает ассоциацию с высоким содержанием кисломолочных продуктов, углеводов и клетчатки у тибетских горцев [36]. Также отмечается, что эта бактерия повышается при ожирении и употреблении животных жиров. Другие исследователи выявили положительную корреляцию *Catenibacterium* и *Ligilactobacillus ruminis* (ранее *Lactobacillus ruminis*) с потреблением омега-6 жирных кислот с пищей [37].

Можно предположить, что традиционный рацион якутов, богатый животными жирами и значительной долей углеводов, балансируется сдвигом микробиоты с сторону повышения содержания *Bacillota* (ранее *Firmicutes*), которые способствуют улучшению энергетического баланса в условиях холодного климата и, вероятно, более эффективны в извлечении энергии из пищи, что косвенно подтверждается повышением их уровня при воздействии холода у мышей. Считается, что повышение соотношения *Bacillota* (*Firmicutes*) и *Bacteroidota* (*Bacteroidetes*) связано с риском ожирения. Эта связь объясняется отсутствием конкуренции за продуцируемые микробиотой источники энергии между типами микробов и хозяином организма [38]. Однако в последнее время ассоциация этого показателя с ожирением считается неубедительной [39]. Предложенные G.D. Wu и соавт. представления об основных энтеротипах, вероятно, также должны быть скорректированы [40].

В отличие от образа жизни якутов, жизнь инуитов связана с морем, а источником питания являются морские плотоядные млекопитающие, способные к длительному пребыванию под водой, питающиеся мелкими морскими животными (рыбами, моллюсками, ракообразными и другими). Метаболическим последствием подводного плавания этих животных является накопление в мышцах большого количества гликогена, используемого для выработки энергии гликолизом при погружении [41]. Питание инуитов, богатое белками и жирами, обуславливает повышение уровня представителей типа *Bacteroidota* (ранее *Bacteroidetes*) в кишечнике, что сближает их микробиоту с микробиотой западных популяций. В целом исследователи отмечают, что микробиота кишечника северных популяций становится схожей с составом микробиоты жителей мегаполисов, что связывают с изменением

типа питания и появлением в рационе продуктов питания промышленного производства.

Микробиота в условиях тесного контакта с животными

Выявленные особенности микробиома инуитов и якутов могут быть связаны с микробным окружением человека, в частности из-за в тесного контакта с сельскохозяйственными или промысловыми животными.

Так, микробиота инуитов имеет высокое содержание анаэробных микробов типов *Bacteroidota* (ранее *Bacteroidetes*) и *Pseudomonadota* (ранее *Proteobacteria*). Источником бактерий типа *Pseudomonadota* (ранее *Proteobacteria*) является морская вода [42]. Инуиты используют в пищу морских плотоядных животных, способных длительно пребывать под водой, питаются мелкими морскими животными. Как показали исследования, в большинстве образцов микробиома дистального отдела кишечника многих морских млекопитающих, включая травоядных сирен и плотоядных ластоногих (тюленей, моржей и морских львов), преобладали представители *Bacteroidota* (ранее *Bacteroidetes*), способные ферментировать крахмалистые полисахариды и белки [43]. Здесь мы видим сходство по основному составу микробиоты кишечника человека и промыслового животного.

Аналогичное сходство наблюдается в составе микробиоты кишечника якутов и рубца жвачного животного (крупный рогатый скот). Значительную долю микробиоты якутов занимают *Bacillota* (ранее *Firmicutes*), в частности микробы семейства *Oscillospiraceae* (ранее *Ruminococcaceae*), расщепляющие растительную целлюлозу с помощью гликозил-гидролаз и известные как базовый компонент микробиома рубца жвачных животных [44, 45].

Таким образом, проведённые к настоящему времени исследования показали, что микробиом современных северных популяций различается по уровню разнообразия и таксономическому составу, на который, помимо климатических условий, могут влиять особенности питания и микробное окружение от домашних и диких животных. Дальнейшие исследования микробиома населения Севера с разным образом жизни, рационом питания могут помочь в выявлении механизмов формирования метаболического здоровья в условиях холодного климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Роль микробиоты кишечника в формировании здоровья и адаптации к холодному климату несомненна. В экспериментах на животных введено понятие «холодовая микробиота», которая отличается высоким содержанием *Bacillota* (ранее *Firmicutes*) и способствует эффективному термогенезу за счёт синтеза КЦЖК, снижения уровня потребления бактериями энергетических субстратов и регуляции инсулинового пути хозяина. Изучение природы

холодовой микробиоты является перспективным направлением исследований в плане участия микробиоты в поддержании здорового метаболизма организма в условиях Севера.

Обзор проведённых к настоящему времени исследований 16S рПНК кишечной микробиоты северных народов показал, что таксономический состав кишечного микробиома в популяциях Севера отличается как от других групп населения, так и между собой. Эти исследования недостаточны, чтобы сформировать полное представление о северной микробиоте, но позволяют сделать некоторые выводы о её особенностях. Несмотря на имеющееся сходство климатических условий и типа питания, различия в традиционных занятиях, рационе и видах окружающих животных находят отражение в составе микробиоты разных популяций Севера.

Вероятно, формирование наиболее приспособленного микробиома происходит через активацию разных метаболических путей в схожих климатических условиях. При этом микробиом якутов и инуитов обладает высоким уровнем внутрииндивидуального разнообразия, в его составе преобладают бактерии, продуцирующие КЦЖК, имеющие разнообразные метаболические функции и пробиотические свойства, что оказывает благоприятное воздействие на метаболическое здоровье в условиях холодного климата. Разработка мероприятий по сохранению и закреплению этих особенностей микробиома популяций Севера является важной задачей дальнейших исследований в этой области.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Т.М. Сивцева — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; М.А. Степанова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; Р.Н. Захарова — обзор литературы, сбор и анализ

литературных источников, подготовка и написание текста статьи; С.И. Семёнов — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; В.Л. Осаковский — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Исследование проведено в рамках базовой части государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSRG-2023-0003).

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

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. T.M. Sivtseva — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article; M.A. Stepanova — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the article; R.N. Zakharova — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the article; S.I. Semenov — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the article; V.L. Osakovsky — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FSRG-2023-0003).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shahi S.K., Zarei K., Guseva N.V., Mangalam A.K. Microbiota analysis using two-step PCR and next-generation 16S rRNA gene sequencing // *J Vis Exp*. 2019. N 152. P. 10.3791/59980. doi: 10.3791/59980
2. Deschasaux M., Bouter K.E., Prodan A., et al. Depicting the composition of gut microbiota in a population with varied ethnic origins but shared geography // *Nat Med*. 2018. Vol. 24, N 10. P. 1526–1531. doi: 10.1038/s41591-018-0160-1
3. Shin J.H., Sim M., Lee J.Y., et al. Lifestyle and geographic insights into the distinct gut microbiota in elderly women from two different geographic locations // *J Physiol Anthropol*. 2016. Vol. 35, N 1. P. 31. doi: 10.1186/s40101-016-0121-7
4. Smith P.M., Howitt M.R., Panikov N., et al. The microbial metabolites, short-chain fatty acids, regulate colonic Treg cell homeostasis // *Science*. 2013. Vol. 341, N 6145. P. 569–573. doi: 10.1126/science.1241165
5. Cummings J.H., Macfarlane G.T. Role of intestinal bacteria in nutrient metabolism // *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 1997. Vol. 21, N 6. P. 357–365. doi: 10.1177/0148607197021006357
6. Deleu S., Arnauts K., Deprez L., et al. High acetate concentration protects intestinal barrier and exerts anti-inflammatory effects in organoid-derived epithelial monolayer cultures from patients with ulcerative colitis // *Int J Mol Sci*. 2023. Vol. 24, N 1. P. 768. doi: 10.3390/ijms24010768
7. Oliphant K., Allen-Vercoe E. Macronutrient metabolism by the human gut microbiome: major fermentation by-products and their impact on host health // *Microbiome*. 2019. Vol. 7, N 1. P. 91. doi: 10.1186/s40168-019-0704-8
8. Mollick S.A., Maji S. Understanding the diversity of human gut microbes in indigenous populations across the world. PREPRINT (Version 1) available at Research Square. doi: 10.21203/rs.3.rs-3950664/v1

9. De Filippo C., Cavalieri D., Di Paola M., et al. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa // *Proc Natl Acad Sci USA*. 2010. Vol. 107, N 33. P. 14691–14696. doi: 10.1073/pnas.1005963107
10. Schnorr S.L., Candela M., Rampelli S., et al. Gut microbiome of the Hadza hunter-gatherers // *Nat Commun*. 2014. Vol. 5. P. 3654. doi: 10.1038/ncomms4654
11. Clemente J.C., Pehrsson E.C., Blaser M.J., et al. The microbiome of uncontacted Amerindians // *Sci Adv*. 2015. Vol. 1, N 3. P. e1500183. doi: 10.1126/sciadv.1500183
12. Sánchez-Quinto A., Cerqueda-García D., Falcón L.I., et al. Gut microbiome in children from indigenous and urban communities in México: different subsistence models, different microbiomes // *Microorganisms*. 2020. Vol. 8, N 10. P. 1592. doi: 10.3390/microorganisms8101592
13. Бойко Е.П. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. EDN: TQOGJP
14. Levy S.B., Klimova T.M., Zakharova R.N., et al. Brown adipose tissue, energy expenditure, and biomarkers of cardio-metabolic health among the Yakut (Sakha) of northeastern Siberia // *Am J Hum Biol*. 2018. Vol. 30, N 6. P. e23175. doi: 10.1002/ajhb.23175
15. Haddaway N.R., Page M.J., Pritchard C.C., McGuinness L.A. PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis // *Campbell Systematic Reviews*. 2022. Vol. 18, N 2. P. e1230. doi: 10.1002/cl2.1230
16. Girard C., Tromas N., Amyot M., Shapiro B.J. Gut microbiome of the Canadian Arctic Inuit // *mSphere*. 2017. Vol. 2, N 1. P. e00297–16. doi: 10.1128/mSphere.00297-16
17. Dubois G., Girard C., Lapointe F.J., Shapiro B.J. The Inuit gut microbiome is dynamic over time and shaped by traditional foods // *Microbiome*. 2017. Vol. 5, N 1. P. 151. doi: 10.1186/s40168-017-0370-7
18. Abed J.Y., Godon T., Mehdaoui F., et al. Gut metagenome profile of the Nunavik Inuit youth is distinct from industrial and non-industrial counterparts // *Commun Biol*. 2022. Vol. 5, N 1. P. 1415. doi: 10.1038/s42003-022-04372-y
19. Pasolli E., Schiffer L., Manghi P., et al. Accessible, curated metagenomic data through ExperimentHub // *Nat Methods*. 2017. Vol. 14, N 11. P. 1023–1024. doi: 10.1038/nmeth.4468
20. Ocvirk S., Wilson A.S., Posma J.M., et al. A prospective cohort analysis of gut microbial co-metabolism in Alaska Native and rural African people at high and low risk of colorectal cancer // *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2020. Vol. 111, N 2. P. 406–419. doi: 10.1093/ajcn/nqz301
21. Wise J.L., Cummings B.P. The 7- α -dehydroxylation pathway: An integral component of gut bacterial bile acid metabolism and potential therapeutic target // *Front Microbiol*. 2023. Vol. 13. P. 1093420. doi: 10.3389/fmicb.2022.1093420
22. Kuznetsova V., Tyakht A., Akhmadishina L., et al. Gut microbiome signature of Viliuisk encephalomyelitis in Yakuts includes an increase in microbes linked to lean body mass and eating behavior // *Orphanet J Rare Dis*. 2020. Vol. 15, N 1. P. 327. doi: 10.1186/s13023-020-01612-4
23. Yu X., Avall-Jääskeläinen S., Koort J., et al. Comparative characterization of different host-sourced *Lactobacillus ruminis* strains and their adhesive, inhibitory, and immunomodulating functions // *Front Microbiol*. 2017. Vol. 8. P. 657. doi: 10.3389/fmicb.2017.00657
24. Yang B., Li M., Wang S., et al. *Lactobacillus ruminis* relieves DSS-induced colitis due to inflammatory cytokines and modulation of the intestinal microbiota // *Food products*. 2021. Vol. 10, N 6. P. 1349. doi: 10.3390/foods10061349
25. Zhernakova D.V., Brukhin V., Malov S., et al. Genome-wide sequence analyses of ethnic populations across Russia // *Genomics*. 2020. Vol. 112, N 1. P. 442–458. doi: 10.1016/j.ygeno.2019.03.007
26. Angelakis E., Bachar D., Yasir M., et al. *Treponema* species enrich the gut microbiota of traditional rural populations but are absent from urban individuals // *New Microbes New Infect*. 2018. Vol. 27. P. 14–21. doi: 10.1016/j.nmni.2018.10.009
27. Chevalier C., Stojanović O., Colin D.J., et al. Gut microbiota orchestrates energy homeostasis during cold // *Cell*. 2015. Vol. 163, N 6. P. 1360–1374. doi: 10.1016/j.cell.2015.11.004
28. Bo T.B., Zhang X.Y., Wen J., et al. The microbiota-gut-brain interaction in regulating host metabolic adaptation to cold in male Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*) // *ISME J*. 2019. Vol. 13, N 12. P. 3037–3053. doi: 10.1038/s41396-019-0492-y
29. Wang Z., Wu Y., Li X., et al. The gut microbiota facilitate their host tolerance to extreme temperatures // *BMC Microbiol*. 2024. Vol. 24, N 1. P. 131. doi: 10.1186/s12866-024-03277-6
30. Royall D., Wolever T.M., Jeejeebhoy K.N. Clinical significance of colonic fermentation // *Am J Gastroenterol*. 1990. Vol. 85, N 10. P. 1307–1312.
31. Moreno-Navarrete J.M., Fernandez-Real J.M. The gut microbiota modulates both browning of white adipose tissue and the activity of brown adipose tissue // *Rev Endocr Metab Disord*. 2019. Vol. 20, N 4. P. 387–397. doi: 10.1007/s11154-019-09523-x
32. Ramos-Romero S., Santocildes G., Piñol-Piñol D., et al. Implication of gut microbiota in the physiology of rats intermittently exposed to cold and hypobaric hypoxia // *PLoS One*. 2020. Vol. 15, N 11. P. e0240686. doi: 10.1371/journal.pone.0240686
33. Li B., Li L., Li M., et al. Microbiota depletion impairs thermogenesis of brown adipose tissue and browning of white adipose tissue // *Cell Rep*. 2019. Vol. 26, N 10. P. 2720–2737.e5. doi: 10.1016/j.celrep.2019.02.015
34. Chen P.C., Tsai T.P., Liao Y.C., et al. Intestinal dual-specificity phosphatase 6 regulates the cold-induced gut microbiota remodeling to promote white adipose browning // *NPJ Biofilms Microbiomes*. 2024. Vol. 10, N 1. P. 22. doi: 10.1038/s41522-024-00495-8
35. Byrne C.S., Chambers E.S., Morrison D.J., Frost G. The role of short chain fatty acids in appetite regulation and energy homeostasis // *Int J Obes*. 2015. Vol. 39, N 9. P. 1331–1338. doi: 10.1038/ijo.2015.84
36. Ma Y., Zhu L., Ma Z., et al. Distinguishing feature of gut microbiota in Tibetan highland coronary artery disease patients and its link with diet // *Sci Rep*. 2021. Vol. 11, N 1. P. 18486. doi: 10.1038/s41598-021-98075-9
37. Heinzer K., Lang S., Farowski F., et al. Dietary omega-6/omega-3 ratio is not associated with gut microbiota composition and disease severity in patients with nonalcoholic fatty liver disease // *Nutrition Research*. 2022. Vol. 107. P. 12–25. doi: 10.1016/j.nutres.2022.07.006

38. Lee Y., Lee H.Y. Revisiting the bacterial phylum composition in metabolic diseases focused on host energy metabolism // *Diabetes Metab J*. 2020. Vol. 44, N 5. P. 658–667. doi: 10.4093/dmj.2019.0220
39. Magne F., Gotteland M., Gauthier L., et al. The Firmicutes/Bacteroidetes ratio: a relevant marker of gut dysbiosis in obese patients? // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, N 5. P. 1474. doi: 10.3390/nu12051474
40. Wu G.D., Chen J., Hoffmann C., et al. Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes // *Science*. 2011. Vol. 334, N 6052. P. 105–108. doi: 10.1126/science.1208344
41. Hochachka P.W., Storey K.B. Metabolic consequences of diving in animals and man // *Science*. 1975. Vol. 187, N 4177. P. 613–621. doi: 10.1126/science.163485
42. Zhou Z., Tran P.Q., Kieft K., Anantharaman K. Genome diversification in globally distributed novel marine Proteobacteria is linked to environmental adaptation // *The ISME Journal*. 2020. Vol. 14, N 8. P. 2060–2077. doi: 10.1038/s41396-020-0669-4
43. Glad T., Kristiansen V.F., Nielsen K.M., et al. Ecological characterisation of the colonic microbiota in Arctic and Sub-Arctic Seals // *Microb Ecol*. 2010. Vol. 60, N 2. P. 320–330. doi: 10.1007/s00248-010-9690-x
44. Мирошникова М.С. Основные представители микробиома рубца (обзор) // *Животноводство и кормопроизводство*. 2020. Т. 103, № 4. С. 174–185. EDN: AGNCZZ doi: 10.33284/2658-3135-103-4-174
45. Mizrahi I., Jami E. Review: The compositional variation of the rumen microbiome and its effect on host performance and methane emission // *Animal*. 2018. Vol. 12, N s2. P. s220–s232. doi: 10.1017/S1751731118001957

REFERENCES

1. Shahi SK, Zarei K, Guseva NV, Mangalam AK. Microbiota analysis using two-step PCR and next-generation 16S rRNA gene sequencing. *J Vis Exp*. 2019;(152):10.3791/59980. doi: 10.3791/59980
2. Deschasaux M, Bouter KE, Prodan A, et al. Depicting the composition of gut microbiota in a population with varied ethnic origins but shared geography. *Nat Med*. 2018;24(10):1526–1531. doi: 10.1038/s41591-018-0160-1
3. Shin JH, Sim M, Lee JY, et al. Lifestyle and geographic insights into the distinct gut microbiota in elderly women from two different geographic locations. *J Physiol Anthropol*. 2016;35(1):31. doi: 10.1186/s40101-016-0121-7
4. Smith PM, Howitt MR, Panikov N, et al. The microbial metabolites, short-chain fatty acids, regulate colonic Treg cell homeostasis. *Science*. 2013;341(6145):569–573. doi: 10.1126/science.1241165
5. Cummings JH, Macfarlane GT. Role of intestinal bacteria in nutrient metabolism. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 1997;21(6):357–365. doi: 10.1177/0148607197021006357
6. Deleu S, Arnauts K, Deprez L, et al. High acetate concentration protects intestinal barrier and exerts anti-inflammatory effects in organoid-derived epithelial monolayer cultures from patients with ulcerative colitis. *Int J Mol Sci*. 2023;24(1):768. doi: 10.3390/ijms24010768
7. Oliphant K, Allen-Vercos E. Macronutrient metabolism by the human gut microbiome: major fermentation by-products and their impact on host health. *Microbiome*. 2019;7(1):91. doi: 10.1186/s40168-019-0704-8
8. Mollick SA, Maji S. Understanding the diversity of human gut microbes in indigenous populations across the world. PREPRINT (Version 1) available at Research Square. doi: 10.21203/rs.3.rs-3950664/v1
9. De Filippo C, Cavalieri D, Di Paola M, et al. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2010;107(33):14691–14696. doi: 10.1073/pnas.1005963107
10. Schnorr SL, Candela M, Rampelli S, et al. Gut microbiome of the Hadza hunter-gatherers. *Nat Commun*. 2014;5:3654. doi: 10.1038/ncomms4654
11. Clemente JC, Pehrsson EC, Blaser MJ, et al. The microbiome of uncontacted Amerindians. *Sci Adv*. 2015;1(3):e1500183. doi: 10.1126/sciadv.1500183
12. Sánchez-Quinto A, Cerqueda-García D, Falcón LI, et al. Gut microbiome in children from indigenous and urban communities in México: different subsistence models, different microbiomes. *Microorganisms*. 2020;8(10):1592. doi: 10.3390/microorganisms8101592
13. Boyko ER. Physiological and biochemical foundations of human life in the North. Yekaterinburg: UrO RAN; 2005. (In Russ.) EDN: TQOGJP
14. Levy SB, Klimova TM, Zakharova RN, et al. Brown adipose tissue, energy expenditure, and biomarkers of cardio-metabolic health among the Yakut (Sakha) of northeastern Siberia. *Am J Hum Biol*. 2018;30(6):e23175. doi: 10.1002/ajhb.23175
15. Haddaway NR, Page MJ, Pritchard CC, McGuinness LA. PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis *Campbell Systematic Reviews*. 2022;18(2):e1230. doi: 10.1002/cl2.1230
16. Girard C, Tromas N, Amyot M, Shapiro BJ. Gut microbiome of the Canadian Arctic Inuit. *mSphere*. 2017;2(1):e00297–16. doi: 10.1128/mSphere.00297-16
17. Dubois G, Girard C, Lapointe FJ, Shapiro BJ. The Inuit gut microbiome is dynamic over time and shaped by traditional foods. *Microbiome*. 2017;5(1):151. doi: 10.1186/s40168-017-0370-7
18. Abed JY, Godon T, Mehdaoui F, et al. Gut metagenome profile of the Nunavik Inuit youth is distinct from industrial and non-industrial counterparts. *Commun Biol*. 2022;5(1):1415. doi: 10.1038/s42003-022-04372-y
19. Pasolli E, Schiffer L, Manghi P, et al. Accessible, curated metagenomic data through ExperimentHub. *Nat. Methods*. 2017;14(11):1023–1024. doi: 10.1038/nmeth.4468
20. Ocvirk S, Wilson AS, Posma JM, et al. A prospective cohort analysis of gut microbial co-metabolism in Alaska Native and rural African people at high and low risk of colorectal cancer. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2020;111(2):406–419. doi: 10.1093/ajcn/nqz301

21. Wise JL, Cummings BP. The 7- α -dehydroxylation pathway: An integral component of gut bacterial bile acid metabolism and potential therapeutic target. *Front Microbiol.* 2023;13:1093420. doi: 10.3389/fmicb.2022.1093420
22. Kuznetsova V, Tyakht A, Akhmadishina L, et al. Gut microbiome signature of Viliuisk encephalomyelitis in Yakuts includes an increase in microbes linked to lean body mass and eating behaviour. *Orphanet J Rare Dis.* 2020;15(1):327. doi: 10.1186/s13023-020-01612-4
23. Yu X, Avall-Jääskeläinen S, Koort J, et al. A Comparative characterization of different host-sourced *Lactobacillus ruminis* strains and their adhesive, inhibitory, and immunomodulating functions. *Front Microbiol.* 2017;8:657. doi: 10.3389/fmicb.2017.00657
24. Yang B., Li M., Wang S., et al. *Lactobacillus ruminis* relieves DSS-induced colitis due to inflammatory cytokines and modulation of the intestinal microbiota. *Food products.* 2021; 10(6):1349. doi: 10.3390/foods10061349
25. Zernakova DV, Brukhin V, Malov S, et al. Genome-wide sequence analyses of ethnic populations across Russia. *Genomics.* 2020;112(1):442–458. doi: 10.1016/j.ygeno.2019.03.007.
26. Angelakis E, Bachar D, Yasir M, et al. Treponema species enrich the gut microbiota of traditional rural populations but are absent from urban individuals. *New Microbes New Infect.* 2018;27:14–21. doi: 10.1016/j.nmni.2018.10.009
27. Chevalier C, Stojanović O, Colin DJ, et al. Gut microbiota orchestrates energy homeostasis during cold. *Cell.* 2015; 163(6):1360–1374. doi: 10.1016/j.cell.2015.11.004
28. Bo TB, Zhang XY, Wen J, et al. The microbiota-gut-brain interaction in regulating host metabolic adaptation to cold in male Brandt's voles (*Lasiopodomys brandtii*). *ISME J.* 2019;13(12):3037–3053. doi: 10.1038/s41396-019-0492-y
29. Wang Z, Wu Y, Li X, et al. The gut microbiota facilitate their host tolerance to extreme temperatures. *BMC Microbiol.* 2024;24(1):131. doi: 10.1186/s12866-024-03277-6
30. Royall D, Wolever TM, Jeejeebhoy KN. Clinical significance of colonic fermentation. *Am J Gastroenterol.* 1990;85(10):1307–1312.
31. Moreno-Navarrete JM, Fernandez-Real JM. The gut microbiota modulates both browning of white adipose tissue and the activity of brown adipose tissue. *Rev Endocr Metab Disord.* 2019;20(4):387–397. doi: 10.1007/s11154-019-09523-x
32. Ramos-Romero S, Santocildes G, Piñol-Piñol D, et al. Implication of gut microbiota in the physiology of rats intermittently exposed to cold and hypobaric hypoxia. *PLoS One.* 2020;15(11):e0240686. doi: 10.1371/journal.pone.0240686
33. Li B, Li L, Li M, et al. Microbiota depletion impairs thermogenesis of brown adipose tissue and browning of white adipose tissue. *Cell Rep.* 2019;26(10):2720–2737.e5. doi: 10.1016/j.celrep.2019.02.015
34. Chen PC, Tsai TP, Liao YC, et al. Intestinal dual-specificity phosphatase 6 regulates the cold-induced gut microbiota remodeling to promote white adipose browning. *NPJ Biofilms Microbiomes.* 2024;10(1):22. doi: 10.1038/s41522-024-00495-8
35. Byrne CS, Chambers ES, Morrison DJ, Frost G. The role of short chain fatty acids in appetite regulation and energy homeostasis. *Int J Obes.* 2015;39(9):1331–1338. doi: 10.1038/ijo.2015.84
36. Ma Y, Zhu L, Ma Z, et al. Distinguishing feature of gut microbiota in Tibetan highland coronary artery disease patients and its link with diet. *Sci Rep.* 2021;11(1):18486. doi: 10.1038/s41598-021-98075-9
37. Heinzer K, Lang S, Farowski F, et al. Dietary omega-6/omega-3 ratio is not associated with gut microbiota composition and disease severity in patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Nutrition Research.* 2022;107:12–25. doi: 10.1016/j.nutres.2022.07.006
38. Lee Y, Lee HY. Revisiting the bacterial phylum composition in metabolic diseases focused on host energy metabolism. *Diabetes Metab. J.* 2020;44(5):658–667. doi: 10.4093/dmj.2019.0220
39. Magne F, Gotteland M, Gauthier L, et al. The Firmicutes/Bacteroidetes ratio: a relevant marker of gut dysbiosis in obese patients? *Nutrients.* 2020;12(5):1474. doi: 10.3390/nu12051474
40. Wu GD, Chen J, Hoffmann C, et al. Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes. *Science.* 2011;334(6052):105–108. doi: 10.1126/science.1208344
41. Hochachka PW, Storey KB. Metabolic consequences of diving in animals and man. *Science.* 1975;187(4177):613–621. doi: 10.1126/science.163485
42. Zhou Z, Tran PQ, Kieft K, Anantharaman K. Genome diversification in globally distributed novel marine Proteobacteria is linked to environmental adaptation. *The ISME Journal.* 2020;14(8):2060–2077. doi: 10.1038/s41396-020-0669-4
43. Glad T, Kristiansen VF, Nielsen KM, et al. Ecological characterisation of the colonic microbiota in Arctic and Sub-Arctic Seals. *Microb Ecol.* 2010;60(2):320–330. doi: 10.1007/s00248-010-9690-x
44. Miroshnikova MS. The main representatives of the rumen microbiome (review). *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2020;103(4):174–185. EDN: AGNCZZ doi: 10.33284/2658-3135-103-4-174
45. Mizrahi I, Jami E. Review: The compositional variation of the rumen microbiome and its effect on host performance and methane emission. *Animal.* 2018;12(s2):s220–s232. doi: 10.1017/S1751731118001957

ОБ АВТОРАХ

***Сивцева Татьяна Михайловна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 677013, Якутск, ул. Ойунского, д. 27;
ORCID: 0000-0002-1501-7433;
eLibrary SPIN: 9571-3044;
e-mail: tm.sivtseva@s-vfu.ru

Степанова Мичийэ Анатольевна, магистрант;
e-mail: michiyastepanov@gmail.com

AUTHORS' INFO

***Tatyana M. Sivtseva**, Cand. Sci. (Biology);
address: 27 Oyunsky str., Yakutsk, Russia, 677013;
ORCID: 0000-0002-1501-7433;
eLibrary SPIN: 9571-3044;
e-mail: tm.sivtseva@s-vfu.ru

Michiye A. Stepanova, Undergraduate Student;
e-mail: michiyastepanov@gmail.com

Захарова Раиса Николаевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-1395-8256;
eLibrary SPIN: 8399-6329;
e-mail: prn.inst@mail.ru

Семенов Сергей Иннокентьевич, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0001-8099-2270;
eLibrary SPIN: 4442-3374;
e-mail: insemenov@yandex.ru

Осаковский Владимир Леонидович, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0001-9529-2488;
eLibrary SPIN: 2730-0390;
e-mail: iz_labgene@mail.ru

Raisa N. Zakharova, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-1395-8256;
eLibrary SPIN: 8399-6329;
e-mail: prn.inst@mail.ru

Sergey I. Semenov, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-8099-2270;
eLibrary SPIN: 4442-3374;
e-mail: insemenov@yandex.ru

Vladimir L. Osakovsky, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0001-9529-2488;
eLibrary SPIN: 2730-0390;
e-mail: iz_labgene@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

Метод количественной оценки микробиологического риска для населения, ассоциированного с питьевой водой

Е.В. Байдакова^{1, 2}, Т.Н. Унгурану²¹ Управление Роспотребнадзора по Архангельской области, Архангельск, Россия;² Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Метод оценки риска применяется с целью изучения вероятности возникновения негативных для здоровья населения последствий при использовании загрязнённой питьевой воды, в числе которых самыми распространёнными являются острые кишечные инфекции. Количественная оценка микробиологического риска представляет собой математическую систему расчёта вероятности развития инфекционных заболеваний, вызываемых патогенными микроорганизмами, присутствующими в питьевой воде. Метод оценки микробиологического риска объединяет данные эпидемиологического и социально-гигиенического мониторинга для вычисления риска возникновения водно-ассоциированных болезней. Этот метод направлен на выявление и снижение риска возникновения водных вспышек инфекционных заболеваний и снижение уровня спорадической (фоновой) заболеваемости инфекциями, возбудители которых передаются через воду. Благодаря описываемому методу и имеющимся онлайн-калькуляторам расчёт вероятности и риска возникновения инфекционных заболеваний при использовании питьевой воды низкого качества становится доступным инструментом для исследователей в данной области. В настоящем обзоре представлены этапы количественной оценки микробиологического риска с описанием методов расчёта, описаны источники данных, необходимые для оценки риска, представлены формулы для расчёта вероятности в зависимости от типа возбудителя инфекционных болезней и даны ссылки на онлайн-калькулятор, позволяющий быстро производить вычисления.

Ключевые слова: количественная оценка микробиологического риска; питьевая вода; острые кишечные инфекции.

Как цитировать:

Байдакова Е.В., Унгурану Т.Н. Метод количественной оценки микробиологического риска для населения, ассоциированного с питьевой водой // Экология человека. 2024. Т. 31, № 5. С. 352–365. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

Quantitative microbial risk assessment for drinking water-associated population

Elena V. Baydakova^{1, 2}, Tatiana N. Unguryanu¹

¹ Federal Agency of Consumer Protection, Arkhangelsk, Russia;

² Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

The risk assessment method is used to study the probability of adverse public health outcomes when using contaminated drinking water, with acute intestinal infections representing a predominant concern. A quantitative microbial risk assessment is a mathematical system designed to calculate the probability of the development of the infectious diseases caused by the pathogenic microorganisms present in drinking water. The microbial risk assessment method integrates epidemiological and sanitary-hygienic monitoring data to calculate the risk of water-associated diseases. This method aims to identify and mitigate the risk of the waterborne outbreaks of infectious diseases and reducing the prevalence sporadic (background) infections caused by water-transmitted pathogens. As a result of the aforementioned method and the availability of online calculators, researchers now can utilize a tool for calculating the probability and risk of occurrence of infectious diseases when using low microbial quality drinking water. This review presents the stages of the microbial risk quantitative assessment with a description of the calculation methods, describes the sources of the data necessary to assess the risk, presents the formulas for calculating the probability depending on the type of infectious pathogen, and provides the links to online calculators allowing for quick calculations.

Keywords: quantitative assessment of microbiological risk; drinking water; acute intestinal infections.

To cite this article:

Baydakova EV, Unguryanu TN. Quantitative microbial risk assessment for drinking water-associated population. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):352–365. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

Received: 23.08.2024

Accepted: 14.11.2024

Published online: 04.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

基于饮用水的居民微生物风险定量评估方法

Elena V. Baydakova^{1,2}, Tatiana N. Unguryanu²

¹ Federal Agency of Consumer Protection, Arkhangelsk, Russia;

² Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

摘要

风险评估方法用于研究使用受污染饮用水对居民健康产生不良后果的可能性，其中最常见的是急性肠道感染。微生物风险定量评估是一种通过数学模型计算饮用水中存在的致病微生物引发传染病概率的系统方法。结合流行病学和社会卫生监测数据，微生物风险定量评估用于识别和降低因水传播引发传染病爆发的风险，并减少零星（背景）水传播感染性疾病的发病率。本文详细介绍了微生物风险定量评估的步骤，包括计算方法、风险评估所需数据来源的描述以及基于病原体类型计算概率的公式。同时提供了在线计算器的链接，以便快速完成评估和计算。通过该方法和现有的在线计算工具，研究者可以方便地计算使用低质量饮用水引发传染病的概率和风险。

关键词：微生物风险定量评估；饮用水；急性肠道感染。

引用本文：

Baydakova EV, Unguryanu TN. 基于饮用水的居民微生物风险定量评估方法. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):352–365.
DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco635356>

收到: 23.08.2024

接受: 14.11.2024

发布日期: 04.12.2024

ОБОСНОВАНИЕ

При эпидемиологическом расследовании водных вспышек инфекционных заболеваний применяют научно-практические подходы, направленные на установление причинно-следственной связи между ухудшением микробиологического качества питьевой воды и развитием инфекционных болезней. Прямая корреляционная зависимость выявлена между микробным загрязнением питьевой воды и ростом заболеваемости дизентерией среди населения городов Ростовской области [1], заболеваемости вирусным гепатитом, ротавирусной инфекцией, лямблиозом населения Вологодской области [2]. В некоторых случаях возбудители острых кишечных инфекций (ОКИ) с водным фактором передачи остаются неустановленными в результате невозможности обнаружения прямой зависимости между загрязнением питьевой воды и ростом заболеваемости [3]. Эксперты Всемирной организации здравоохранения отмечают, что обнаружение и исследование уровня фекальных индикаторных бактерий в питьевой воде не всегда способно выявить микробиологическую опасность для населения, так как жизнеспособность вирусов и способы их попадания в питьевую воду отличаются от бактерий [4]. Кроме того, массовые случаи возникновения ОКИ, связанные с аварийными ситуациями на водопроводах, происходят даже при соответствии питьевой воды показателям микробиологического качества и безопасности, так как индикаторным микроорганизмам необходимо время для роста и размножения [5–7].

С целью изучения вероятности возникновения негативных для населения последствий при использовании загрязнённой воды применяют методы оценки риска. Оценка риска представляет собой математическую систему расчёта инфекционного риска опасных для человека патогенов, которая может помочь в выявлении и регулировании рисков, связанных с передаваемыми через воду микроорганизмами, особенно в случае спорадических заболеваний. В нашей стране разработаны, внедрены и используются в практической деятельности специалистов Роспотребнадзора методические рекомендации МР 2.1.10.0067-12 «Оценка риска здоровью населения при воздействии факторов микробной природы, содержащихся в пищевых продуктах. Методические основы, принципы и критерии оценки» [8] и МР 2.1.10.0031-11 «Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путем» [9]. В МР 2.1.10.0067-12 описаны методы и критерии оценки микробиологического риска, связанного с пищевыми продуктами, данные рекомендации можно использовать для оценки риска, связанного с качеством бутилированной воды. Методические рекомендации МР 2.1.10.0031-11 описывают применение двух методов оценки: это балльный метод и метод с применением математических моделей для расчёта по пяти основным направлениям

водопользования. Каждое направление воздействия имеет свои показатели оценки, в зависимости от их значения присваивается балл или весовой коэффициент с дальнейшим расчётом, что позволяет оценить вклад того или иного фактора в общую структуру микробиологического риска, обусловленного качеством питьевой воды.

Количественная оценка микробиологического риска, связанного с питьевой водой, получила широкое распространение в зарубежных исследованиях. С помощью метода количественной оценки риска Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) оценивали эффективность разных методов водоочистки [10], выбора водоисточника для целей питьевого водоснабжения [11], надёжность канализационно-очистных сооружений [12], риск развития полиомиелита в результате нарушения контейнмента в одной из европейских лабораторий по производству полиовакцин [13]. Метод количественной оценки позволяет рассчитать вероятность развития инфекционных заболеваний, вызванных патогенами, и включает в себя четыре этапа: идентификация опасности; оценка экспозиции; оценка зависимости «доза–ответ»; характеристика риска.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ

Оценка микробиологического качества питьевой воды отражает актуальность водного пути передачи возбудителей инфекционных заболеваний. Возбудители инфекционных болезней, включаемые в оценку микробиологического риска, связанного с питьевой водой, должны быть выбраны с учётом распространённости заболеваний среди населения.

Критериями выбора инфекционных заболеваний для оценки микробиологического риска являются уровень спорадической (фоновой) заболеваемости среди населения исследуемой территории, этиология зарегистрированных на территории водных вспышек, данные об обнаружении возбудителя в питьевой воде.

Оценка эпидемиологической значимости заболеваний с водным путём передачи возможна с помощью показателей соотношения числа случаев ОКИ (ротавирусная инфекция, норовирусная инфекция, энтеровирусная инфекция, гепатит А, сальмонеллёз, дизентерия) и/или анализа многолетней динамики заболеваемости (абсолютный прирост, темп роста, темп прироста и коэффициент опережения). Источниками сведений о групповой и спорадической заболеваемости могут служить формы федерального и отраслевого статистического наблюдения (форма № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях»; форма № 23 «Сведения о вспышках инфекционных заболеваний»), данные персонифицированного учёта случаев инфекционных заболеваний Единой информационно-аналитической системы Роспотребнадзора. Показатель заболеваемости ОКИ рассчитывается на 100 тыс. населения.

Период наблюдения за динамикой заболеваемости ОКИ не должен быть менее года, наиболее оптимальными для анализа являются данные за несколько лет наблюдения, к примеру за 10–15 лет.

Оценка концентрации патогенов или индикаторных показателей в питьевой воде должна основываться на систематическом наблюдении за системой водоснабжения и рекреационного водопользования, включая события, которые могут привести к изменению концентрации (аварийные ситуации, сброс неочищенных сточных вод в поверхностные водоёмы, контроль за результатами гиперхлорирования воды). Оценка микробиологического качества питьевой воды проводится за период, аналогичный анализу многолетней динамики заболеваемости ОКИ.

В качестве данных о показателях микробиологического загрязнения могут быть использованы результаты лабораторных исследований питьевой воды при социально-гигиеническом мониторинге учреждениями Роспотребнадзора, производственном контроле, контрольно-надзорных мероприятиях, также может быть организовано полевое исследование микробиологического качества питьевой воды на изучаемой территории.

Если оценка риска производится для систем централизованного питьевого водоснабжения, то к точкам обязательного контроля относятся вода водоисточника (на станции 1-го подъёма для поверхностных источников, из скважины — для подземных), непосредственно после водоподготовки (точка перед подачей в распределительную сеть), транспортировка воды (водопроводная наружная распределительная сеть), водопроводная внутренняя сеть (кран потребителя).

Микробиологический анализ питьевой воды основан на выявлении бактериальных или бактериофаговых индикаторов фекального загрязнения, таких как колиформные бактерии, *Escherichia coli* (*E. coli*), энтерококки и колифаги.

Колиформные бактерии относят к группе бактерий кишечной палочки и используют в качестве индикаторного показателя микробного загрязнения воды, так как они присутствуют в кишечнике теплокровных животных и почве, способны длительно выживать в воде и устойчивы к обеззараживающим веществам [14]. *E. coli* аналогично колиформам относят к группе индикаторных микроорганизмов для оценки загрязнения питьевой воды, при этом её наличие свидетельствует о свежем фекальном антропогенном загрязнении питьевой воды, так как *E. coli* чаще встречается в фекалиях человека [3]. Энтерококки входят в состав нормальной микрофлоры кишечника человека и теплокровных животных и при попадании в питьевую воду способны длительно сохранять жизнеспособность и размножаться, свидетельствуя о давнем или длительно присутствующем микробном загрязнении воды. В отличие от колиформ, энтерококки устойчивы к высыханию и хлорированию, а распространение антибиотико-устойчивых штаммов энтерококков может вызывать тяжёлые

инфекции [15, 16]. Эти свойства энтерококков способствовали включению данной группы бактерий в перечень показателей микробиологического качества питьевой воды.

В качестве индикаторного показателя возможного вирусного загрязнения воды питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения используют колифаги, которые являются вирусами кишечной палочки (*Escherichia coli*). Колифаги более устойчивы к окружающей среде, чем их бактерии-хозяева, что обуславливает способность колифагов служить индикатором давнего фекального загрязнения. Исследователями доказана зависимость между содержанием колифагов в воде и опасными для человека энтеровирусами [12, 17]. На этапе идентификации необходимо исследовать количественное содержание индикаторного показателя в питьевой воде.

При статистическом анализе для описания содержания индикаторных показателей в воде могут быть использованы среднее значение, верхняя граница экспозиции на уровне 95-го перцентиля, максимальное значение показателя за анализируемый период.

Количественные данные о концентрации патогенов должны быть сопоставимы с единицами, используемыми при оценке «доза–ответ»: расчёт дозы осуществляется на 1000 мл, если объём исследуемой пробы не превышает 100 см³ (100 мл), значение количества патогена в 100 мл пробы необходимо пересчитать на 1 л воды.

Пример. Для количественной оценки микробиологического риска, связанного с питьевой водой городских систем централизованного водоснабжения, необходимо выбрать группы ОКИ, наиболее распространённых среди населения, и проанализировать качество питьевой воды по микробиологическим показателям (общая микробная численность, общие колиформные бактерии, колифаги).

Анализ многолетней динамики заболеваемости ОКИ с возможным водным путём передачи возбудителя (табл. 1) показывает, что эпидемический процесс ОКИ вирусной этиологии в городах Архангельской области (за исключением Северодвинска) имеет тенденцию к росту (средний темп прироста — 9,4–42,3%). Наибольшая интенсивность эпидпроцесса вирусных кишечных инфекций отмечается среди населения Архангельска и Кораяжмы (средний абсолютный прирост 15,5⁰/₀₀₀₀ и 61,9⁰/₀₀₀₀ соответственно). Заболеваемость ОКИ бактериальной этиологии снижается среди совокупного населения всех описываемых городов (средний темп убыли — от –19,2% до –5,0%).

В структуре ОКИ вирусной этиологии (табл. 2) среди населения исследуемых городов первое место занимает ротавирусная инфекция (79,6–99,3% случаев), второе место отводится норовирусным гастроэнтеритам (0,2–10,0%), третье — энтеровирусной инфекции (0,2–8,8%).

Таким образом, наибольшее распространение среди совокупного населения пяти городов Архангельской

Таблица 1. Показатели динамики заболеваемости совокупного населения городов Архангельской области за 14-летний период наблюдения

Table 1. Indicators of the dynamics of morbidity in the total population of cities in the Arkhangelsk region over a 14-year observation period

Территория Area	Средний темп роста, % Average growth rate (%)	Средний темп прироста, % Average growth rate (%)	Средний абсолютный прирост, ‰ Average absolute growth (‰)	Темп роста Growth rate
Острые кишечные инфекции установленной вирусной этиологии Acute intestinal infections of established viral etiology				
Архангельск Arkhangelsk	109,4	9,4	15,5	2,5
Новодвинск Novodvinsk	102,7	2,7	4,0	1,3
Котлас Kotlas	103,9	3,9	11,6	1,5
Коряжма Koryazhma	142,3	42,3	61,9	34,0
Северодвинск Severodvinsk	95,5	−4,5	−3,9	0,6
Острые кишечные инфекции установленной бактериальной этиологии Acute intestinal infections of established bacterial etiology				
Архангельск Arkhangelsk	95,0	−5,0	−2,8	0,6
Новодвинск Novodvinsk	88,6	−11,4	−8,7	0,3
Котлас Kotlas	91,3	−8,7	−2,4	0,4
Коряжма Koryazhma	89,1	−10,9	−7,2	0,3
Северодвинск Severodvinsk	80,8	−19,2	−9,3	0,1

Таблица 2. Структура острых кишечных инфекций, зарегистрированных среди населения городов Архангельской области за 14-летний период наблюдения

Table 2. Structure of acute intestinal infections registered among the populations of cities in the Arkhangelsk region over a 14-year observation period

Острые кишечные инфекции Acute intestinal infections	Архангельск Arkhangelsk	Северодвинск Severodvinsk	Новодвинск Novodvinsk	Котлас Kotlas	Коряжма Koryazhma
Ротавирусная Rotavirus	79,6%	84,4%	89,5%	99,3%	80,8%
Норовирусная Norovirus	9,2%	10,0%	4,9%	0,2%	16,0%
Энтеровирусная Enterovirus	8,8%	0,7%	4,9%	0,2%	0,3%
Гепатит А Hepatitis A	2,4%	4,8%	0,7%	0,3%	2,9%

области получили ОКИ рота-, норо- и энтеровирусной этиологии.

По данным социально-гигиенического мониторинга за качеством питьевого водоснабжения установлено, что в питьевой воде водопроводной сети Архангельска и Коряжмы регистрировались случаи обнаружения колифагов (табл. 3). Полученные данные позволяют произвести дальнейший расчёт вероятности возникновения ОКИ для населения этих двух городов при употреблении загрязнённой питьевой воды водопроводной сети.

Таблица 3. Качество питьевой воды централизованного питьевого водоснабжения за 14-летний период наблюдения по содержанию колифагов в сети (2-й подъём и сеть)

Table 3. Quality of drinking water from centralized drinking water supply over a 14-year observation period based on the content of coliphages in the water supply (after water treatment and water supply)

Год Year	Количество дней в году с обнаружением колифагов The number of days per year with the detection of coliphages	Среднее значение колифагов в 1 пробе, БОЕ* The average value of coliphages in 1 sample (*PFU)
Архангельск Arkhangelsk		
2006	23	3,6
2007	20	2,5
2008	11	3,1
2009	29	4,0
2010	7	3,6
2012	2	2,2
2013	2	1,4
2014	1	1,1
2015	4	1,4
2016	13	2,6
2019	1	1,4
Коряжма Koryazhma		
2011	7	9,0
2012	2	2,7
2015	2	3,7

* БОЕ — бляшкообразующие единицы.
* PFU — plaque-forming units.

ОЦЕНКА ЭКСПОЗИЦИИ

Оценка экспозиции — это расчёт дозы патогена, которую человек получает пероральным, ингаляционным или перкутаным путём. Доза патогена используется в математических моделях «доза–ответ» для расчёта вероятности заражения и вычисляется по формуле 1:

$dose=C\times V,$ (1)

где *dose* — доза патогена (вероятное количество микроорганизмов в объёме употребляемой воды), *C* — концентрация возбудителя в 1 л потребляемой воды, *V* — объём водопотребления, л/сут.

Обычно для расчёта дозы используют среднее значение количества воды, необходимое для человека, которое составляет около 2 л/сут (по данным ВОЗ). Вместе с тем необходимо учитывать, что в этот объём включается использование, не только водопроводной,

но и бутилированной воды и воды из других источников. Потребность в воде увеличивается с возрастом (табл. 4). Если оценку микробиологического риска осуществляют не от систем централизованного водоснабжения, а от других условий водопользования, то необходимо знать объём загрязнённой воды, оказывающей воздействие на человека, например, количество воды, проглатываемое при купании в водоёме, занятии водными видами спорта и др.

Пример. На основании сведений об объёме потребления питьевой воды из городских водопроводов населением всех возрастов произведён расчёт дозы вирусного патогена в сети централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения Архангельска и Коряжмы за 2015 г. Для расчёта использовали среднее содержание колифагов в одной пробе питьевой воды водопроводной сети в 2015 г.

Расчёт дозы для Архангельска: 1,4 БОЕ×1,193 л=1,67 вирусных единиц в сутки.

Расчёт дозы для Коряжмы: 3,7 БОЕ×1,193 л=4,41 вирусных единиц в сутки.

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ
«ДОЗА–ОТВЕТ»

Цель данного этапа — описать взаимосвязь между воздействием и вероятностью инфицирования или болезни для отдельных возбудителей инфекционных болезней и оценить риск ответа (инфекции, болезни или смерти) с учётом известной дозы патогена. Наиболее часто применяемые модели основаны на теории однократного попадания: предполагается, что каждая попавшая в организм частица патогена действует независимо и с индивидуальной вероятностью может вызвать инфекцию.

Существуют две модели, которые используют для расчёта зависимости «доза–ответ» при оценке микробиологического риска.

Экспоненциальная модель

Условия применения для расчётов:

- пуассоновское распределение микроорганизмов в рассчитанной дозе;
- даже одна единица возбудителя способна вызвать инфекцию;
- организмы имеют независимую и одинаковую вероятность (*k*) выживания, чтобы заразить человека.

Расчёт вероятности осуществляется по формуле (2):

$P_{\text{вероятность заражения}}=1-\exp(-dose\times k),$ (2)

где *dose* — доза патогена (вероятное количество микроорганизмов в литре), *k* — вероятность выживания микроорганизма в воде, чтобы заразить человека, рассчитанная для каждого микроорганизма (см. табл. 4).

Таблица 4. Средний объём потребления воды из водопроводной сети для приготовления пищи, питья, случайном проглатывании (мл/день)*

Table 4. Average consumption of water from the water supply network for cooking, drinking, accidental ingestion (ml/day)*

Возраст Age	Среднее значение Mean
До 1 года Up to 1 year	302
От 1 года до 10 лет From 1 year to 10 years	736
От 11 до 19 лет From 11 to 19 years old	965
От 20 до 64 лет From 20 to 64 years old	1366
От 65 лет и старше 65 years and older	1459
Все возрасты All ages	1193

* По данным Руководства по факторам экспозиции Агентства по охране окружающей среды США [18].
* According to the U.S. Environmental Protection Agency's Exposure Factors Guide (according to U.S. EPA. Exposure Factors Handbook) [18].

Бета-пуассоновская модель

- Условия применения для расчётов:
- пуассоновское распределение микроорганизмов в рассчитанной дозе;
 - даже одна единица возбудителя способна вызвать инфекцию;
 - непостоянная выживаемость возбудителя в воде и вероятность заражения человека;
 - вероятность выживания возбудителя задаётся бета-распределением.

Расчёт вероятности осуществляется по формуле (3):

$$P_{\text{вероятность заражения}} = 1 - \left[1 + \frac{dose^{1/\alpha} - 1}{N_{50}} \right]^{-\alpha}, \tag{3}$$

где *dose* — доза патогена (вероятное количество микроорганизмов в литре), α и N_{50} — параметры бета-распределения Пуассона, рассчитанные для каждого микроорганизма (см. табл. 4).

Бета-пуассоновская модель с использованием вырожденной гипергеометрической функции (применима для норовирусной инфекции) по формуле (4):

$$P_{\text{вероятность заражения}} = 1 - {}_1F_1(\alpha; \alpha + \beta; -dose), \tag{4}$$

где *dose* — доза патогена (вероятное количество микроорганизмов в литре), α и β — параметры бета-распределения Пуассона, рассчитанные для каждого микроорганизма (см. табл. 4)

Для выбора оптимальной модели и необходимых для расчёта коэффициентов можно воспользоваться рекомендуемыми моделями и параметрами для расчёта вероятности заражения, полученными из литературных данных в табл. 5.

Модель «доза–ответ» оценивает вероятность инфекции, связанной с однократным случаем употребления питьевой воды, содержащей возбудителя инфекционных болезней. Чтобы рассмотреть несколько событий за более длительный период времени, необходимо объединить индивидуальную вероятность с количеством инцидентов, когда наблюдалось ухудшение микробиологического качества питьевой воды с использованием следующей формулы (5):

$$P_{\text{inf}} = 1 - (1 - P_{\text{вероятность заражения}})^n, \tag{5}$$

где P_{inf} — это вероятность одного или нескольких заражений в течение *n* событий воздействия, *n* — инцидентность или количество случаев обнаружения возбудителя в воде

Таблица 5. Рекомендуемые модели и параметры для расчёта вероятности заражения

Table 5. Recommended models and parameters for calculating the probability of infection

Инфекционный агент Infectious agent	Оптимальная модель «доза–ответ» The optimal dose–response model	Параметры Parameters	Источник информации Source of information
Ротавирус Rotavirus	Бета-пуассоновская Beta-Poisson	$\alpha=0,253$ $N_{50}=6,17$	Ward et al. [19]
Энтеровирус Enterovirus	Экспоненциальная Exponential	$k=0,00374$	Cliver [20]
Шигелла Флекснера Flexner's Shigella	Бета-пуассоновская Beta-Poisson	$\alpha=0,265$ $N_{50} = 1480$	DuPont et al. [21]
<i>Escherichia coli</i>	Бета-пуассоновская Beta-Poisson	$\alpha=0,155$ $N_{50}=2\,110\,000$	DuPont et al. [22]
Норовирус Norovirus	Бета-пуассоновская с использованием функции гипергеометрического распределения Beta-Poisson using the hypergeometric distribution function	$\alpha=0,04$ $\beta=0,055$	Teunis et al. [23]

за весь период наблюдения, $P_{\text{вероятность заражения}}$ — вероятность заражения, связанная с однократным случаем употребления питьевой воды, содержащей возбудителя инфекционных болезней.

Под коэффициентом n в исследованиях за год чаще всего понимают количество календарных дней в году (365). Однако использование столь высокого коэффициента считается нецелесообразным, так как аварийные ситуации, способные привести к возникновению инфекционных болезней, являются единичными. С учётом этого под коэффициентом n возможно использование количества нестандартных проб, зарегистрированных за весь период исследования.

Расчёт дозы, вероятности заражения и риска, сопряжённого с этой вероятностью, можно осуществлять вручную или с помощью онлайн-калькулятора «Количественная оценка микробного риска», разработанного ФГБОУ ВО СГМУ (Архангельск) Минздрава России и ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора.

Калькулятор «Количественная оценка микробного риска» позволяет осуществить расчёт дозы, вероятности возникновения инфекционного заболевания и риска, сопряжённого с этой вероятностью, с применением экспоненциальной модели и бета-пуассоновской модели в зависимости от инфекционного агента, его концентрации и заданного объёма употребляемой в сутки питьевой воды из водопроводной сети. Ссылки для скачивания калькулятора «Количественная оценка микробного риска» представлены на рис. 1 (для ОС Linux) и рис. 2 (для ОС Windows).

Помимо онлайн-калькулятора «Количественная оценка микробного риска», возможно использование и других электронных ресурсов, к примеру электронного калькулятора ресурса qmtgawiki.org, который позволят произвести расчёт количественного риска от других известных патогенов, передаваемых с питьевой водой.

ХАРАКТЕРИСТИКА РИСКА

Цель данного этапа — определить уровень риска исходя из полученных расчётов вероятности возникновения заболевания при воздействии загрязнённой питьевой воды и разработать мероприятия, направленные на снижение риска.

Характеристика риска объединяет результаты расчёта вероятности заражения при употреблении загрязнённой питьевой воды с частотой возникновения ситуаций такого загрязнения, выражается в количественной переменной R_{inf} .

Чтобы перевести рассчитанное значение риска R_{inf} в качественную характеристику для определения эпидемической опасности возникновения кишечных инфекций, связанных с водопотреблением, предлагается использовать 3 диапазона значения переменной R_{inf} : от 0,0 до 0,2 — низкий риск, от 0,2 до 0,4 — средний риск;



Рис. 1. Ссылка для ОС Linux.

Fig. 1. Link for Linux OS.



Рис. 2. Ссылка для ОС Windows.

Fig. 2. Link for Windows OS.

от 0,4 до 1,0 — высокий риск.

В зависимости от уровней риска разрабатывается комплекс мероприятий санитарно-гигиенического и противоэпидемического характера, направленных на снижение риска. Введение мероприятий может быть организовано самостоятельно хозяйствующими субъектами, осуществляющими работу по водоподготовке и обеспечению населения питьевой водой, а также органами местного самоуправления для защиты населения.

Пример. Расчёт вероятности и риска был произведён с использованием онлайн-калькулятора «Количественная оценка микробного риска» (рис. 3). Количественная оценка микробиологического риска возникновения ОКИ, связанного с водой централизованного питьевого водоснабжения, указывает на высокий и средний риск возникновения ротавирусной и норовирусной инфекций в Архангельске в 2006–2010 гг., в 2012–2016 гг. и в 2019 г., средний риск возникновения энтеровирусной инфекции — в 2006 и 2009 гг. (табл. 6). В Коряжме зарегистрирован высокий риск развития норовирусной и ротавирусной инфекций и средний риск энтеровирусной и ротавирусной инфекций в отдельные годы наблюдения.

Выберите инфекционный агент

- ☒ Ротавирус
- ☐ Энтеровирус
- ☐ Шигелла Флекснера
- ☐ Escherichia coli
- ☐ Норовирус

Доза патогена = 1,4 л⁻¹ × 1,193 л

n = 4

Рассчитать

Высокий риск (0.80)
 Доза = 1.67
 Вероятность = 0.33
 Расчет вероятности осуществляется с помощью Бета-Пуассоновской модели (α = 0.253, N₉₀ = 6.17)

Рис. 3. Пример расчёта дозы, вероятности возникновения и коэффициента риска с помощью онлайн-калькулятора «Количественная оценка микробного риска».

Fig. 3. An example of a dose calculation, probability of occurrence and risk coefficient using the online calculator “Quantitative microbiological risk assessment”.

Таблица 6. Количественная оценка микробиологического риска, связанного с питьевой водой в городах Архангельской области за 2006–2019 гг.

Table 6. Quantitative assessment of microbiological risk associated with drinking water in the cities of the Arkhangelsk region for 2006–2019

Годы Years	Доза Dose	Ротавирусная инфекция Rotavirus infection	Норовирусная инфекция Norovirus infection	Энтеровирусная инфекция Enterovirus infection
Архангельск Arkhangelsk				
2006	4,29	Высокий High $P_{вз}=0,46$ $R_{inf}=1,00$	Высокий High $P_{вз}=0,45$ $R_{inf}=1,00$	Средний Average $P_{вз}=0,02$ $R_{inf}=0,31$
2007	2,98	Высокий High $P_{вз}=0,41$ $R_{inf}=1,00$	Высокий High $P_{вз}=0,43$ $R_{inf}=1,00$	Низкий Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,2$
2008	3,70	Высокий High $P_{вз}=0,44$ $R_{inf}=1,00$	Высокий High $P_{вз}=0,44$ $R_{inf}=1,00$	Низкий Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,14$
2009	4,77	Высокий High $P_{вз}=0,47$ $R_{inf}=1,00$	Высокий High $P_{вз}=0,46$ $R_{inf}=1,00$	Средний Average $P_{вз}=0,02$ $R_{inf}=0,40$
2010	4,29	Высокий High $P_{вз}=0,46$ $R_{inf}=0,99$	Высокий High $P_{вз}=0,45$ $R_{inf}=0,99$	Низкий Low $P_{вз}=0,02$ $R_{inf}=0,11$
2012	2,62	Средний Average $P_{вз}=0,39$ $R_{inf}=0,63$	Средний Average $P_{вз}=0,41$ $R_{inf}=0,66$	Низкий Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,02$
2013	1,67	Средний Average $P_{вз}=0,33$ $R_{inf}=0,55$	Средний Average $P_{вз}=0,36$ $R_{inf}=0,58$	Низкий Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,014$
2014	1,23	Низкий Low $P_{вз}=0,29$ $R_{inf}=0,29$	Низкий Low $P_{вз}=0,31$ $R_{inf}=0,31$	Низкий Low $P_{вз}=0,00$ $R_{inf}=0,00$
2015	1,67	Высокий High $P_{вз}=0,33$ $R_{inf}=0,80$	Высокий High $P_{вз}=0,36$ $R_{inf}=0,83$	Низкий Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,02$
2016	3,10	Высокий High $P_{вз}=0,41$ $R_{inf}=1,00$	Высокий High $P_{вз}=0,43$ $R_{inf}=1,00$	Низкий Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,14$
2019	1,67	Средний Average $P_{вз}=0,33$ $R_{inf}=0,33$	Средний Average $P_{вз}=0,36$ $R_{inf}=0,36$	Низкий Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,01$
Коряжма Koryazhma				
2011	10,74	Высокий High $P_{вз}=0,56$ $R_{inf}=1,00$	Высокий High $P_{вз}=0,48$ $R_{inf}=1,00$	Средний Average $P_{вз}=0,04$ $R_{inf}=0,25$
2012	3,22	Средний Average $P_{вз}=0,42$ $R_{inf}=0,66$	Высокий High $P_{вз}=0,43$ $R_{inf}=0,68$	Низкий Low $P_{вз}=0,01$ $R_{inf}=0,02$
2015	4,41	Высокий High $P_{вз}=0,46$ $R_{inf}=0,71$	Высокий High $P_{вз}=0,45$ $R_{inf}=0,70$	Низкий Low $P_{вз}=0,02$ $R_{inf}=0,03$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количественная оценка микробиологического риска направлена на выявление вероятности развития инфекционных заболеваний при непосредственном употреблении загрязнённой питьевой воды. В отличие от метода комплексной оценки риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путём, количественная оценка микробиологического риска не позволяет проанализировать вклад конкретных условий водопользования в общий риск возникновения ОКИ, так как подразумевает оценку воздействия от уже загрязнённой воды. Комплексная оценка направлена на многолетнее систематическое наблюдение за состоянием условий водоснабжения и включает в себя условия централизованного и нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения на всех этапах водоподготовки и транспортировки воды по распределительной сети, состояние воды водоисточника, зон рекреационного водопользования, коммунального благоустройства территории. Сбор данных на этапе идентификации опасности позволяет объединить результаты эпидемиологического и гигиенического мониторинга для объективного анализа санитарно-эпидемиологической ситуации на исследуемой территории. Расширение объёма используемых для оценки риска данных о качестве питьевого водоснабжения, совершенствование методов обнаружения патогенов в питьевой воде и методов количественного определения возбудителей в пробах питьевой воды позволит устранить допускаемые неопределённости в методе количественной оценки риска.

Благодаря оценке риска возможно своевременное принятие противоэпидемических и санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на снижение риска возникновения ОКИ, передаваемых через воду [24–26].

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарности. Авторы выражают признательность сотрудникам ФБУН «Московский научно-исследовательский институт

эпидемиологии и микробиологии им. Г.Н. Габричевского» Роспотребнадзора: лаборанту-исследователю С.О. Высочанской, руководителю лаборатории эпиднадзора за дифтерией и коклюшем А.А. Басову, главному научному сотруднику А.М. Затевалову за помощь в разработке онлайн-калькулятора для проведения количественной оценки микробиологического риска.

Вклад авторов. Е.В. Байдакова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; Т.Н. Унгуряну — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста, редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. We thank the to the scientists of the G.N. Gabrichevsky Research Institute of Epidemiology and Microbiology laboratory assistant S.O. Vysochanskaya, head of the laboratory of the epidemiological surveillance for diphtheria and pertussis A.A. Basov, Chief Researcher A.M. Zatevalov for the development of an online calculator for a quantitative microbiological risk assessment.

Authors' contribution. E.V. Baydakova — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article; T.N. Unguryanu — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing of the text and editing the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьёв М.Ю., Конченко А.В., Курашвили О.М., Михеева И.В. Влияние качества питьевой воды на состояние здоровья населения городов Ростовской области // Здоровье населения и среда обитания. 2009. № 3. С. 44–46. EDN: MUSDZL
2. Фигурина Т.И., Шадрина С.Ю., Карлова Т.В., Родина А.О. Оценка риска хозяйственно-питьевого водоснабжения Вологодской области. Пути и механизмы управления // Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова. 2009. № 2. С. 70–73. EDN: NSJXPB
3. Grandjean D., Jorand F., Yañez C., et al. Influence of lepidocrocite (γ -FeOOH) on *Escherichia Coli* cultivability in drinking water // Environmental Technology. 2005. Vol. 26, N 2. P. 211–217. doi: 10.1080/09593332608618577
4. Quantitative Microbial Risk Assessment, QMRA: Application for Water Safety Management. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565370> Дата обращения: 01.06.2024.
5. Ahmed W., Hamilton K., Toze S., et al. A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls: Potential health risks and mitigation strategies // Science of the Total Environment journal. 2019. Vol. 692. P. 1304–1321. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.055
6. Ashbolt N.J. Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems // Current Environmental Health Reports. 2015. Vol. 2, N 1. P. 95–106. doi: 10.1007/s40572-014-0037-5

7. Ramírez-Castillo F.Y., Loera-Muro A., Jacques M., et al. Waterborne pathogens: detection methods and challenges // *Pathogens*. 2015. Vol. 4, N 2. P. 307–334. doi: 10.3390/pathogens4020307
8. Методические рекомендации МР 2.1.10.0067-12 «Оценка риска здоровью населения при воздействии факторов микробной природы, содержащихся в пищевых продуктах. Методические основы, принципы и критерии оценки». Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70118360> Дата обращения: 01.10.2024.
9. МР 2.1.10.0031-11. «Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путем. Методические рекомендации». Режим доступа: <http://base.garant.ru/70105056> Дата обращения: 01.10.2024.
10. Dalahmeh S.S., Lalander C., Pell M., et al. Quality of greywater treated in biochar filter and risk assessment of gastroenteritis due to household exposure during maintenance and irrigation // *Journal of Applied Microbiology*. 2016. Vol. 121, N 5. P. 1427–1443. doi: 10.1111/jam.13273
11. Anastasopoulou A., Kolios A., Somorin T., et al. Conceptual environmental impact assessment of a novel self-sustained sanitation system incorporating a quantitative microbial risk assessment approach // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 639. P. 657–672. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.062
12. Petterson SR. Application of a QMRA Framework to Inform Selection of Drinking Water Interventions in the Developing Context // *Risk Anal*. 2016. Vol. 36, N 2. P. 203–214. doi: 10.1111/risa.12452
13. Duizer E., Rutjes S., de Roda Husman A.M., Schijven J. Risk assessment, risk management and risk-based monitoring following a reported accidental release of poliovirus in Belgium, September to November 2014 // *Euro Surveill*. 2016. Vol. 21, N 11. P. 30169 doi: 10.2807/1560-7917.ES.2016.21.11.30169
14. Загайнова А.В., Трухина Г.М., Рахманин Ю.А., и др. Обоснование введения индикаторных показателей «обобщённые колиформные бактерии» и «*Escherichia coli*» в систему санитарно-эпидемиологического контроля безопасности питьевой воды // *Гигиена и санитария*. 2020. Т. 99, № 12. С. 1353–1359. EDN: HWXNYA doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1353-1359
15. Gavini F., Leclerc H., Mossel D.A. Enterobacteriaceae of the “coliform group” in drinking water: Identification and worldwide distribution // *Systematic and Applied Microbiology*. 1985. Vol. 6. P. 312–318.
16. Byappanahalli M.N., Nevers M.B., Korajkic A. Enterococci in the environment // *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2012. Vol. 76, N 4. P. 685–706. doi: 10.1128/mmb.00023-12
17. Rodrigues C., Cunha M.Â. Assessment of the microbiological quality of recreational waters: indicators and methods // *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2017. Vol. 2. P. 25. doi: 10.1007/s41207-017-0035-8
18. EPA’s Exposure Factors Handbook (EFH). Режим доступа: <https://www.epa.gov/expobox/about-exposure-factors-handbook> Дата обращения: 01.06.2024.
19. Ward R.L., Bernstein D.I., Young E.C., et al. Human rotavirus studies in volunteers: determination of infectious dose and serological response to infection // *Journal of Infectious Diseases*. 1986. Vol. 154, N 5. P. 871–880. doi: 10.1093/infdis/154.5.871
20. Cliver D.O. Experimental infection by waterborne enteroviruses // *Journal of Food Protection*. 1981. Vol. 44, N 11. P. 861–865. doi: 10.4315/0362-028X-44.11.861
21. DuPont H.L., Hornick R.B., Snyder M.J., et al. Immunity in shigellosis. I. Response of man to attenuated strains of *Shigella* // *Journal of Infectious Diseases*. 1972. Vol. 125, N 1. P. 5–11. doi: 10.1093/infdis/125.1.5
22. Dupont H.L., Formal S.B., Hornick R.B., et al. Pathogenesis of *Escherichia coli* diarrhea // *The New England Journal of Medicine*. 1971. Vol. 285, N 1. P. 1–9. doi: 10.1056/NEJM197107012850101
23. Teunis P.F., Moe C.L., Liu P., et al. Norwalk virus: How infectious is it? // *Journal of Medical Virology*. 2008. Vol. 80, N 8. P. 1468–1476. doi: 10.1002/jmv.21237
24. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы». Режим доступа: <https://base.garant.ru/400289764> Дата обращения: 01.11.2022.
25. СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы». Режим доступа: <https://base.garant.ru/400342149> Дата обращения: 01.11.2021.
26. Профилактика инфекционных болезней. Организация работы в очагах инфекционных и паразитарных болезней: Методические указания МУ 3.1.3.3114/1-13. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013.

REFERENCES

1. Soloviev MYu, Konchenko AV, Kurashvili OM, Mikheeva IV. Influence of drinking water quality on the health status of the population of the cities of the Rostov region. *Public Health and Life Environment*. 2009;(3):44–46. (In Russ.) EDN: MUSDZL
2. Figurina TI, Shadrina SU, Karlova TV, Rodina AO. Evaluation of risk of household-drinking water supply of Vologda region population. *Herald of the Mechnikov Saint-Petersburg State Medical Academy*. 2009;(2):70–73. EDN: NSJXPB
3. Grandjean D, Jorand F, Yañez C, et al. Influence of lepidocrocite (γ-FeOOH) on *Escherichia coli* cultivability in drinking water. *Environmental Technology*. 2005;26(2):211–217. doi: 10.1080/09593332608618577
4. Quantitative Microbial Risk Assessment, QMRA: Application for Water Safety Management [cited 2024 Jun 01]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565370>
5. Ahmed W, Hamilton K, Toze S, et al. A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls: Potential health

- risks and mitigation strategies. *Science of the Total Environment Journal*. 2020;692:1304–1321. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.055
6. Ashbolt NJ. Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems. *Current Environmental Health Reports*. 2015;2(1):95–106. doi: 10.1007/s40572-014-0037-5
 7. Ramírez-Castillo FY, Loera-Muro A, Jacques M, et al. Waterborne pathogens: detection methods and challenges. *Pathogens*. 2015;4(2):307–334. doi: 10.3390/pathogens4020307
 8. Methodological recommendations MP 2.1.10.0067-12 “Assessment of the risk to public health when exposed to microbial factors contained in food products. Methodological foundations, principles and evaluation criteria” [cited 2024 Oct 01]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70118360> (In Russ.)
 9. Methodological recommendations of MP 2.1.10.0031-11. “Comprehensive assessment of the risk of bacterial intestinal infections transmitted by water. Methodological recommendations” [cited 2024 Oct 01]. Available from: <http://base.garant.ru/70105056> (In Russ.)
 10. Dalahmeh SS, Lalander C, Pell M, et al. Quality of greywater treated in biochar filter and risk assessment of gastroenteritis due to household exposure during maintenance and irrigation. *Journal of Applied Microbiology*. 2016;121(5):1427–1443. doi: 10.1111/jam.13273
 11. Anastasopoulou A, Kolios A, Somorin T, et al. Conceptual environmental impact assessment of a novel self-sustained sanitation system incorporating a quantitative microbial risk assessment approach. *Science of the Total Environment*. 2018;639:657–672. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.062
 12. Petterson SR. Application of a QMRA Framework to Inform Selection of Drinking Water Interventions in the Developing Context. *Risk Anal*. 2016;36(2):203–214. doi: 10.1111/risa.12452
 13. Duizer E, Rutjes S, de Roda Husman AM, Schijven J. Risk assessment, risk management and risk-based monitoring following a reported accidental release of poliovirus in Belgium, September to November 2014. *Euro Surveill*. 2016;21(11):30169. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2016.21.11.30169
 14. Zagainova AV, Trukhina GM, Rakhmanin YuA, et al. The rationale for introducing the indices “generalized coliform bacteria” and “*Escherichia coli*” into the scheme of sanitary and microbiological control of water quality as indices of fecal contamination. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(12):1353–1359. EDN: HWXNYA
doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1353-1359
 15. Gavini F, Leclerc H, Mossel DA. Enterobacteriaceae of the “coliform group” in drinking water: Identification and worldwide distribution. *Systematic and Applied Microbiology*. 1985;6: 312–318.
 16. Byappanahalli MN, Nevers MB, Korajkic A. Enterococci in the environment. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2012;76(4):685–706. doi: 10.1128/mmbr.00023-12
 17. Rodrigues C, Cunha MÂ. Assessment of the microbiological quality of recreational waters: indicators and methods. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2017;2:25. doi: 10.1007/s41207-017-0035-8
 18. EPA’s Exposure Factors Handbook (EFH) [cited 2024 Jun 01] Available from: <https://www.epa.gov/expobox/about-exposure-factors-handbook>
 19. Ward RL, Bernstein DI, Young EC, et al. Human rotavirus studies in volunteers: determination of infectious dose and serological response to infection. *Journal of Infectious Diseases*. 1986;154(5):871–880. doi: 10.1093/infdis/154.5.871
 20. Cliver DO. Experimental infection by waterborne enteroviruses. *Journal of Food Protection*. 1981;44(11):861–865. doi: 10.4315/0362-028X-44.11.861
 21. DuPont HL, Hornick RB, Snyder MJ, et al. Immunity in shigellosis. I. Response of man to attenuated strains of *Shigella*. *Journal of Infectious Diseases*. 1972;125(1):5–11. doi: 10.1093/infdis/125.1.5
 22. Dupont HL, Formal SB, Hornick RB, et al. Pathogenesis of *Escherichia coli* diarrhea. *The New England Journal of Medicine*. 1971;285(1):1–9. doi: 10.1056/NEJM197107012850101
 23. Teunis PF, Moe CL, Liu P, et al. Norwalk virus: How infectious is it? *Journal of Medical Virology*. 2008;80(8):1468–1476. doi: 10.1002/jmv.21237
 24. SanPiN 2.1.3684-21 “Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial and public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures. Sanitary and epidemiological rules and regulations” [cited 2022 Nov 01]. Available from: <https://base.garant.ru/400289764> (In Russ.)
 25. SanPiN 3.3686-21 “Sanitary and epidemiological requirements for the prevention of infectious diseases. Sanitary and epidemiological rules and regulations” [cited 2021 Nov 01]. Available from: <https://base.garant.ru/400342149> (In Russ.)
 26. Prevention of infectious diseases. Organization of work in foci of infectious and parasitic diseases: Methodological guidelines of MU 3.1.3114/1-13. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2013. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Байдакова Елена Валерьевна;**

адрес: Россия, 163061, Архангельск, ул. Гайдара, д. 24;

ORCID: 0000-0002-1570-6589;

eLibrary SPIN: 3398-3669;

e-mail: elenabaydakova@yandex.ru

Унгуряну Татьяна Николаевна, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-8936-7324;

eLibrary SPIN: 7358-1674;

e-mail: unguryanu_tn@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Elena V. Baydakova;**

address: 24 Gaidar str., Arkhangelsk, Russia, 163061;

ORCID: 0000-0002-1570-6589;

eLibrary SPIN: 3398-3669;

e-mail: elenabaydakova@yandex.ru

Tatiana N. Unguryanu, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0001-8936-7324;

eLibrary SPIN: 7358-1674;

e-mail: unguryanu_tn@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco636467>

Major temporal trends and age-related characteristics of obesity morbidity in Arkhangelsk region population

Kirill V. Shelygin¹, Alexandra V. Strelkova^{1,2}, Lada I. Lozhkina¹, Svetlana I. Malyavskaya¹

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Obesity is a chronic disease that represents a significant risk factor of type 2 diabetes mellitus and cardiovascular diseases, as well as a primary contributor to disability. This condition affects individuals of all age groups, including children, which represents a particularly concerning trend. The incidence of obesity over multiple years has not been sufficiently studied in Russia. It is therefore pertinent to analyze the incidence of obesity over time in different age groups in order to identify the principal determining factors.

AIM: To evaluate the main dynamic and age-related characteristics of obesity morbidity in the Arkhangelsk Region.

MATERIALS AND METHODS: We conducted a retrospective, analytical, non-randomized study. The 1991–2022 changes in the primary obesity morbidity in the Arkhangelsk Region population was analyzed. The contribution of the incidence in different age groups to the total change in the primary morbidity and degree of chronification in the population was investigated. The extent of underreporting of obesity morbidity during the period of the pandemic was estimated. The study employed a variety of analytical techniques, including the use of standardized indicators, time series analysis, and index methods.

RESULTS: Our findings revealed a consistent increase in the primary morbidity of obesity over the 1991–2006 period, followed by a subsequent decline. The overall primary morbidity demonstrated a 506.4% increase. The changes in the primary obesity morbidity across the population are most closely aligned with those observed in the 0- to 14-year-old age group. The substantial fluctuations in the primary morbidity among the overall population are associated with those observed in the older age groups. Obesity is a chronic disease, and the proportion of individuals who are chronically obese is increasing. It is estimated that the primary morbidity of obesity was underreported by 16.8% during the period of the pandemic.

CONCLUSION: The analysis of the dynamic characteristics of the obesity morbidity allows for assuming its significant dependence on administrative factors, most notably on changes in diagnostic criteria. It is evident that there is an unmet need in the programs designed to report, treat, and prevent obesity, particularly in children, with the aim of reducing the cardiometabolic population burden and other risks. This is particularly pertinent in the context of the need to develop the Arctic zone of the Russian Federation and to protect health in the region.

Keywords: obesity incidence; population; Arkhangelsk region.

To cite this article:

Shelygin KV, Strelkova AV, Lozhkina LI, Malyavskaya SI. Major temporal trends and age-related characteristics of obesity morbidity in Arkhangelsk region population. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):366–379. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco636467>

Received: 25.09.2024

Accepted: 15.11.2024

Published online: 04.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco636467>

Основные динамические и возрастные характеристики заболеваемости ожирением населения Архангельской области

К.В. Шелыгин¹, А.В. Стрелкова^{1, 2}, Л.И. Ложкина¹, С.И. Малявская¹¹ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Ожирение — хроническое заболевание, являющееся основным фактором риска сахарного диабета 2-го типа, сердечно-сосудистых заболеваний и одной из основных причин инвалидности. Данная патология затрагивает все возрастные группы населения, включая детей, что является самой негативной тенденцией. В России недостаточный уровень изучения заболеваемости ожирением в многолетней перспективе. В связи с этим представляется актуальным анализ динамики уровня заболеваемости ожирением в различных возрастных группах с целью выявления основных возможных детерминирующих факторов.

Цель. Оценить основные динамические и возрастные характеристики заболеваемости ожирением населения Архангельской области.

Материалы и методы. Исследование ретроспективное аналитическое нерандомизированное. Проанализирована динамика показателей первичной заболеваемости ожирением населения Архангельской области за 1991–2022 гг. Изучен вклад заболеваемости в различных возрастных группах в общее изменение первичной заболеваемости и степень хронизации заболеваемости населения ожирением. Оценён уровень недоучёта заболеваемости ожирением в период пандемии COVID-19. Использованы стандартизованные показатели официальной медицинской статистики, а также методы анализа временных рядов, индексный метод.

Результаты. Установлено, что с 1991 до 2006 г. наблюдался непрерывный рост заболеваемости ожирением с последующим снижением. Общее увеличение первичной заболеваемости составило 506,4%. Динамика первичной заболеваемости населения ожирением максимально связана с динамикой первичной заболеваемости ожирением в группе 0–14 лет. Отдельные значительные колебания первичной заболеваемости всего населения связаны с колебаниями первичной заболеваемости в старших возрастных группах. Ожирение — хроническое заболевание, уровень его хронизации увеличивается. Недоучёт первичной заболеваемости в период пандемии COVID-19 составил 16,8%.

Заключение. Анализ динамических характеристик первичной заболеваемости ожирением позволяет сделать предположение о её значительной зависимости от административных факторов, прежде всего от изменений диагностических критериев. Требуются программы как учёта и лечения, так и профилактики ожирения, особенно детского, для снижения кардиометаболического популяционного груза и иных рисков в условиях запроса на развитие Арктической зоны Российской Федерации и здоровьесбережение в регионе.

Ключевые слова: заболеваемость ожирением; население; Архангельская область.

Как цитировать:

Шелыгин К.В., Стрелкова А.В., Ложкина Л.И., Малявская С.И. Основные динамические и возрастные характеристики заболеваемости ожирением населения Архангельской области // Экология человека. 2024. Т. 31, № 5. С. 366–379. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco636467>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco636467>

阿尔汉格尔斯克州人口肥胖患病率的主要动态和年龄特征

Kirill V. Shelygin¹, Alexandra V. Strelkova^{1,2}, Lada I. Lozhkina¹, Svetlana I. Malyavskaya¹¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

摘要

背景。肥胖是一种慢性疾病，是2型糖尿病、心血管疾病的主要风险因素之一，也是导致残疾的主要原因。这种疾病影响所有年龄段人群，包括儿童，这是一种负面趋势。在俄罗斯，对肥胖长期患病率的研究不足。因此，分析不同年龄组肥胖患病率的动态以发现可能的决定性因素显得尤为重要。

研究目的。评估阿尔汉格尔斯克州人口肥胖患病率的主要动态和年龄特征。

材料与方法。本研究为回顾性分析性非随机研究，分析了1991年至2022年间阿尔汉格尔斯克州人口肥胖初次患病率的动态，研究了不同年龄组患病率对整体肥胖初次患病率变化的贡献以及肥胖慢性化程度。同时评估了COVID-19大流行期间肥胖患病率的漏报情况。研究采用了官方医疗统计数据的标准化指标，以及时间序列分析和指数分析法。

结果。从1991年至2006年，肥胖患病率持续增长，随后出现下降，总体初次患病率增长了506.4%。人口肥胖初次患病率的动态与0-14岁年龄组肥胖初次患病率的动态高度相关。整个人口肥胖初次患病率的个别显著波动与老年组患病率的波动相关。肥胖是一种慢性疾病，其慢性化程度正在增加。在COVID-19大流行期间，肥胖初次患病率的漏报率为16.8%。

结论。对肥胖初次患病率动态特征的分析表明，其显著依赖于行政因素，尤其是诊断标准的变化。因此，需要制定肥胖的记录、治疗以及预防计划，特别是儿童肥胖的预防，以减轻心血管疾病负担以及其他健康风险。这在俄罗斯北极地区的发展和地区健康保护需求背景下尤为重要。

关键词：肥胖患病率；人口；阿尔汉格尔斯克州。

引用本文：

Shelygin KV, Strelkova AV, Lozhkina LI, Malyavskaya SI. 阿尔汉格尔斯克州人口肥胖患病率的主要动态和年龄特征. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):366–379. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco636467>

收到: 25.09.2024

接受: 15.11.2024

发布日期: 04.12.2024

BACKGROUND

Obesity is a chronic disease associated with excessive accumulation of body fat, which is a significant health threat and a major risk factor of other chronic diseases, including type 2 diabetes mellitus and cardiovascular diseases. Obesity had not been formally recognized in the International Classification of Diseases (ICD) until 1948. Alongside the ongoing debate on obesity classification, the population suffering from the condition has dramatically increased. By 2000, there were more than 300 million patients with obesity, prompting the World Health Organization (WHO) to define obesity as an epidemic of the 21st century [1]. Obesity is a key cause of disability and mortality worldwide, affecting individuals of all ages, including children and adolescents [2]. In the Russian Federation, 62.0% individuals were overweight and 26.2% were obese in 2016 [3]. One of the most adverse trends is the growing prevalence of obesity in children. For example, a 2017–2018 study conducted in Moscow with 2,166 7-year-old children as part of the WHO Childhood Obesity Surveillance Initiative (38 European countries, 2007) showed that 24% boys and 23% girls were overweight; whereas 10% and 7% were obese, respectively [4].

The available data is insufficient for the analysis of multiyear changes in obesity-related morbidity (ORM) in Russia. The majority of studies have a cross-sectional design. Therefore, it is important to study ORM trends in different age groups to identify the key determinants of the disease.

Aim: To evaluate the major dynamic and age-related characteristics of ORM in the Arkhangelsk Region.

MATERIALS AND METHODS

The study examined ORM (ICD-10, code E66) incidence and primary morbidity and chronicity rates in the population of the Arkhangelsk region.

The analysis covers the period from 1991 to 2022. We selected this period for analysis due to the onset of obesity diagnoses in 1991.

Data sources:

1) Morbidity rates were provided by the Medical Information and Analytical Center of the Arkhangelsk Region (Statistical Form No. 12, Information on the Number of Diseases Registered in Patients Living in the Service Area of the Healthcare Provider).

2) The population data by age were provided by the Russian Database on Fertility and Mortality of the Center for Demographic Research of the Russian Economic School [5].

Mathematical and statistical methods:

1) The morbidity rates were standardized using the direct method with a population standard of the Arkhangelsk Region in 2019.

2) Abnormal values (outliers) were detected by Irwin test.

3) The Chow test was used to estimate the structural instability of the time series.

4) The White test was used to assess the significance of morbidity differences.

5) The index method was used to calculate the contribution of morbidity changes in different age groups to the overall ORM trend.

6) Chronicity rates were calculated as the ratio of total morbidity to primary morbidity [6].

7) The Shapiro–Wilk test was used to determine the conformity of the model residuals to the normal distribution.

RESULTS

Dynamic Characteristics of Morbidity

From 1991 to 2022, the primary morbidity rate increased fivefold (506.4%). This rate is defined as the number of diseases detected for the first time. From 2011 to 2022, the average primary morbidity rate in the Arkhangelsk Region (277.9 cases per 100,000 people) was higher than that in the Russian Federation (270.9 cases per 100,000 people). However, the difference was not statistically significant ($p \geq 0.05$). The dynamics of the primary ORM can be divided into three periods, progressive growth (1991 to 2005), a sharp increase followed by a decline (2006 to 2014), and another increase followed by a decline (2015 to 2022) (see Fig. 1). The first period was characterized by a linear increase in primary morbidity ($p < 0.001$) with relatively small rate dispersion (mean $[M]=93.9$, standard deviation $[SD]=45.8$) compared to the second period ($M=294.8$; $SD=63.1$). Rate dispersion in the third period was comparable to that of the first period ($M=292.8$; $SD=43.9$). Thus, the highest instability in morbidity dynamics was observed in 2006–2014. Irwin test for 1991–2022 showed that the morbidity spike in 2006 was abnormal ($\lambda=2.134$; $\lambda_{critical}=1.1$). Therefore, the highest index instability period (2006–2014) was apparently due to a morbidity spike in 2006. Subsequently, the fluctuations slowed down and stabilized in 2015–2022. These findings and the linear growth in 1991–2014 showed that the primary morbidity rate peaked in 2006 and then began to decline. Thus, the morbidity rate increased by 547.4% in 1991–2005 followed by a decline by 41.2% and 37.7% in 2006–2014 and 2015–2022, respectively. The Chow test showed structural instability at the 2006 and 2015 points ($F(1, 30)=127.284$, $p=0.0000$ and $F(1, 30)=8.98849$, $p=0.0054$, respectively), which mathematically confirms our assumption of a trend change in these periods compared to the 1991–2005 trend. However, when comparing the dynamics in 2006–2022, the Chow test showed no structural instability at the 2015 point. This indicates that the dynamics did not change during that period ($F(1, 15)=0.0109575$; $p=0.9180$). Therefore, the 2006–2015 and 2015–2022 periods do not differ in terms of rate dynamics. The chain growth rate analysis showed that the highest rate was in 1991–2005 (11.8%) with a decrease in 2006–2014 (10.9%) to the lowest rate in 2015–2022 (1.7%). These findings suggest that the rate of new cases slowed down in the.

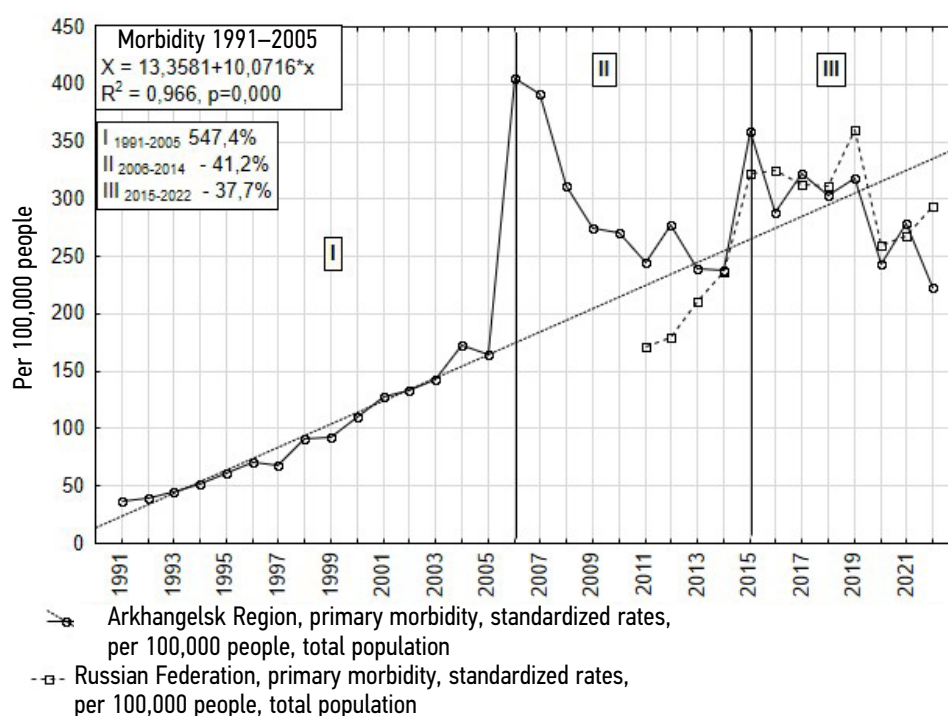


Fig. 1. Dynamics of primary obesity-related morbidity rates per 100,000 people in the Arkhangelsk Region in 1991–2022 (standardized).

Contribution of the Main age groups to the overall dynamics of obesity-related morbidity and its chronicity

We analyzed the contribution of ORM in the age groups 0–14, 15–17, and ≥ 18 years to the overall dynamics of primary ORM.

The index method showed that the total primary morbidity increased by 506.4% in 1991–2022. This increase was mainly due to the primary morbidity growth in the 0–14 and older age groups (279.0%). The second largest contribution was the ≥ 18 age group (176.6%).

When examining different periods, including the most significant increase in 2006, the major contributor was the ≥ 18 years age group. The observed morbidity decline in 2006–2022 is attributed to a morbidity decrease in adults balanced by a morbidity increase in children (see Fig. 2).

Throughout the entire period, the chronicity coefficient exceeded 1.0 ($M=5.0$; $SD=1.4$). The dynamics of this coefficient showed two distinct periods, a decrease in 1991–2006 followed by an increase (see Fig. 3). The decrease in 1991–2006 was gradual (average growth rate: 1.9%; $SD=14.0$); whereas the subsequent growth was more rapid (average growth rate: 8.7%; $SD=13.4$). Overall, the indicator increased by 118.6% in 1991–2022, reaching the record high in 2022.

Underestimated morbidity during the COVID-19 pandemic

We used nonstandardized primary morbidity rates for 2017–2022 to study the underestimated primary morbidity during the COVID-19 pandemic. The Irwin test showed an

outlier in 2022 ($\lambda=1.8$ at $\lambda_{critical}=1.5$). The primary ORM showed a 23.6% decrease in 2020 followed by an increase of 14.0% in 2021. We assumed that this outlier is attributable to a morbidity decrease associated with fewer outpatient visits during the COVID-19 pandemic. Given the nearly linear dynamics observed in 2018–2022, the calculation was based on the time average for this period with the 2020 figure excluded. The time average was 291.8 cases per 100,000 people. Considering the actual rate of 242.7 cases per 100,000 people in 2020, the difference was 49.1 cases per 100,000 people (555 individuals, 16.8%). Apparently, the 16.8% share of morbidity decrease in 2020 was attributable to the restrictive measures during the COVID-19 pandemic. Thus, the subsequent morbidity increase in 2021 may have been compensatory.

DISCUSSION

The dynamics analysis of the primary ORM in the population of the Arkhangelsk Region showed a systematic increase before 2005 followed by sharp fluctuations (see Fig. 1). The time series analysis showed that the dynamics changed in 2006. The observed changes in subsequent years allow for some assumption on their nature. First, the fluctuations, their strength, and the instantaneous increase in 2006 indicate their artificial nature and show that the changes are unrelated to the natural epidemiological process of morbidity changes. The period between 1997 and 2020 is characterized by epidemiological and clinical differences in the conceptualization of general obesity and abdominal obesity. These differences are represented by the dynamics of the primary ORM in the Arkhangelsk Region.

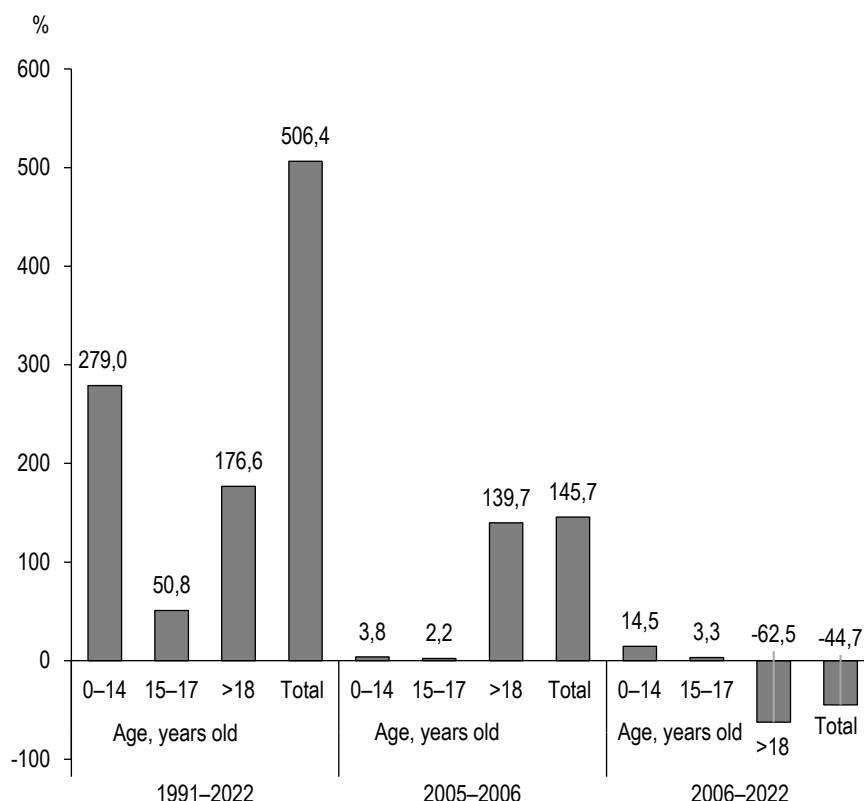


Fig. 2. Contribution of morbidity in separate age groups to the change in the primary obesity-related morbidity in the Arkhangelsk Region, %.

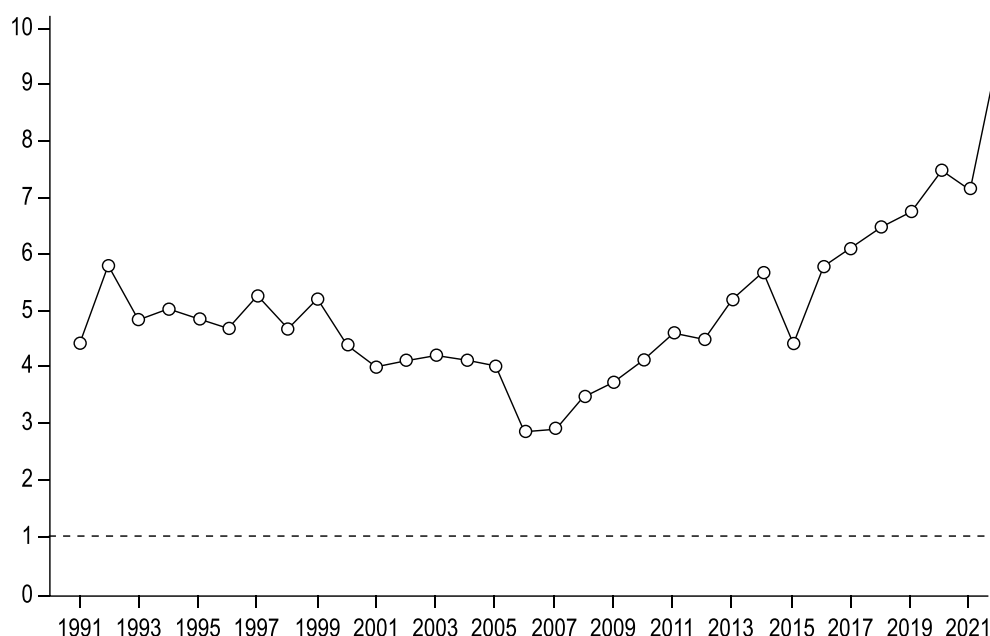


Fig. 3. Chronicity dynamics of obesity-related morbidity in the population of the Arkhangelsk Region, units.

Until 1997, the Body Mass Index (BMI), or the Quetelet index (1835), proposed by Ancel Keys in 1972, could be used in Russia to diagnose obesity. However, it is believed that Broca Index (1871) was more commonly used in Russian medical practice, i.e. ideal body mass = height (cm) – 100 cm ± 9.9% [7]. According to the classification proposed by Egorov and Levitsky (1964), the degree of obesity is determined by the

percentage by which the actual body weight exceeds the ideal body weight calculated using the Broca Index.

In 1997, the WHO recommended changing the BMI standards to end at 25 kg/m² instead of 28.7 kg/m². Because of this, approximately 29 million previously healthy Americans were reclassified as overweight or obese [8].

Fig. 1 shows that the primary ORM has steadily increased

in the Arkhangelsk Region since 1991 with an abnormal 2.5-fold spike (150%) in 2006 compared to 2005. It is believed that the steady increase in obesity rates in Russia is a consequence of the socio-economic stress in 1991. We agree with this assumption; however, the rapid growth of ORM in the Arkhangelsk Region in 2005 may indicate changes in the medical community's ideas about the metabolic syndrome (MS) and abdominal obesity rather than being a result of socio-economic problems. In other words, it is a consequence of changes in the diagnostic criteria of obesity. In 2005, the International Diabetes Federation (IDF) and the American Heart Association (AHA), along with the National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI), proposed a unified concept of MS aligned with the European Group for the Study of Insulin Resistance (1999). This concept defined abdominal obesity with a waist circumference (WC) >94 cm for men and >80 cm for women as the primary criterion for MS. This definition and understanding of the MS caused an abnormal increase in the primary ORM in the Arkhangelsk Region only in the adult population in 2005–2006 as a result of a change in diagnostic guidelines (see Fig. 1). Notably, ICD-10 does not have an MS category. Thus, before 2005, the MS symptom group was likely divided into hyperglycemia (E10, E11, E13, E14), hypertension (I10, I11), dyslipidemia (E78), and obesity (E66). After 2005, the key IDF, AHA, and NHLBI criterion (abdominal obesity with a WC of >94 cm in men and >80 cm in women) presumably became the basis for new obesity diagnoses. In addition, metformin therapy for abdominal obesity (MS) became available [7, 9].

However, the debate continued. In 2009, a new agreement on MS criteria was reached through the collaboration of leading international MS research organizations, including the IDF, NHLBI, AHA, World Heart Federation, International Atherosclerosis Society, and International Association for the Study of Obesity. This alliance excluded abdominal obesity from the priority MS criteria. All criteria are now equal and a diagnosis of MS requires that three of the five criteria from the unified definition should be met. There are also changes in the diagnostic WC thresholds of abdominal obesity. For example, the IDF recommends keeping WC values >94 cm for men and >80 cm for women in the Caucasian population. The WHO's stratification of the Caucasian population is based on the magnitude of cardiovascular risk; the risk is defined as moderate for men with a WC >94 cm and women with a WC >80 cm and significantly high for men with a WC >102 cm and women with a WC >88 cm. Today, these criteria (AHA/NHLBI/IDF, 2009) are included in the final interpretation of the MS definition [10, 11].

In 2010, a WHO expert group published a report on its analysis on the pathophysiology and epidemiology of MS. Due to limitations and contradictions of the concept, the conclusion was that MS should not be used as a clinical diagnosis. In addition, MS is not included in the ICD-11. A sort of response to the WHO's conclusions is the graph showing the increase in primary ORM in Arkhangelsk in 2009–2014.

It froze and transitions to a horizontal trend (see Fig. 1). A new morbidity spike was observed in 2015 and apparently associated with higher medical activity.

In 2014, the American Association of Clinical Endocrinology and the American College of Endocrinology proposed a staging obesity classification that considers anthropometric and clinical data, including complications associated with excess body weight [12]. According to the proposed staging system, obesity may be diagnosed in individuals with anthropometric data of excess body weight and associated complications. Obesity-associated diseases/complications included prediabetes and type 2 diabetes mellitus, arterial hypertension, hypertriglyceridemia/dyslipidemia, obstructive sleep apnea syndrome, nonalcoholic fatty liver disease, polycystic ovary syndrome, and osteoarthritis. The proposed classification determined possible reasonable medical intervention and did not contradict the primary healthcare standard for obesity (E66) approved by Order No. 752n of the Ministry of Health of the Russian Federation on November 9, 2012. This Order governs the treatment of obesity with sibutramine, orlistat, and metformin [13]. The combination of new diagnostic techniques and therapeutic options contributed to the morbidity spike in 2015.

Thus, sharp morbidity rate fluctuations were the result of administrative interventions. This is indirectly confirmed by the return to the previously predicted morbidity rate in 2009 and the increased dispersion of morbidity rates after 2005 (see Fig. 1). In this case, linear regression dynamics passing through the 2013 and 2019 points are the most realistic.

Unlike the uneven increase in ORM in adults may be explained by the consequences of the 1990s and differences in diagnosis, the increased pediatric ORM in the Arkhangelsk Region is true as it reflects the metabolic pandemic with the onset at early development stages [14, 15]. Furthermore, other research results indicate a significant increase in obesity and overweight status in children of all ages in the Northwestern Federal District, particularly in large industrial centers [16–18].

To analyze this complex and multifactorial process, it is required to highlight several factors and discuss each of them in detail.

The first is the diagnosis of pediatric obesity. As with adults, the analyzed period was marked by changes in the approaches used to verify the diagnosis. Since the 1990s, BMI percentile charts have been gradually adopted in the Russian Federation, where a BMI above the 95th percentile is considered obese and a BMI between the 85th and 95th percentiles is considered overweight [8, 19]. As more global epidemiological data accumulated and the initial charts developed, the diagnostic obesity threshold has shifted from the 85th to the 95th percentile [20].

Since 2007, the Russian Federation has used the WHO diagnostic criteria of pediatric obesity. These criteria were developed based on a prospective study of 8440 healthy infants from six countries during the first 24 months of life followed

by a cross-sectional examination at 18–71 months [21]. Importantly, the children were raised in environments conducive to physiological growth, including breastfeeding, balanced diets, preventive vaccinations, and avoidance of unhealthy lifestyle by their mothers. Based on the obtained data, height and weight standards were developed for children aged 0 to 5. In addition, height and weight standards were developed for children aged 5 to 19 based on mathematical models and a sample of children from the USA. This assessment system is advantageous as it determines criteria of healthy growth rather than the growth patterns of children in contemporary society, where obesity rates increase every decade [22]. According to WHO recommendations, obesity in children and adolescents aged 0 to 19 years was defined as a BMI ≥ 2.0 BMI standard deviation score (SDS). Overweight was defined as a BMI between +1.0 and +2.0 BMI SDS, and normal body weight was defined as a BMI in the range of ± 1.0 BMI SDS [23–25]. The diagnosis of pediatric obesity in real-life pediatric practice may have been affected both by the apparent complexity of the calculation and the existing algorithms and the delayed widespread availability of online calculators that allow for quick and accurate determination of overweight/obesity and its degree in different age groups. Thus, the probability of underdiagnosis of pediatric obesity is higher than overdiagnosis, given the potential methodological challenges.

Second, primary morbidity results from two sources, primary detection by pediatricians when admitting children with other diagnoses and targeted referral by parents concerned about their children's weight. Statistical Form No. 12 does not include medical examinations, including check-ups. Moreover, some experts believe that the Russian Federation exhibits a trend of delayed referrals to doctors for childhood obesity, despite the fact that a chubby baby has long ceased to symbolize health and well-being [26].

Therefore, neither changes in the diagnostic criteria of pediatric obesity nor the peculiarities of seeking medical help have resulted in a 300% increase in pediatric obesity rates in the Arkhangelsk Region, nor could they have caused general changes in ORM rates in the region over the thirty-year observation period driven by the 0–14 age group. For 30 years, the Arkhangelsk Region's pediatric services have worked "qualitatively" and kept pace with global statistics on pediatric obesity. This coincides with WHO data indicating that childhood obesity prevalence has tripled since 1975, as showed by our study [14, 27–30]. Today, Russian experts state that obesity in children and adolescents in the Russian Federation is the most prevalent endocrine disease with a strong trend of steady growth in obesity rates, including in young children (up to five years of age), i.e. before the adiposity rebound, ensuring that obesity will persist into adulthood [8, 31]. Moreover, this study indicates that obesity is a chronic condition. The data on the prevalence of childhood obesity in the Russian Federation is only the tip of the iceberg. The actual figures may be much higher [31–33].

Third, the increase in pediatric obesity, both locally and globally, must have a cause. Experts worldwide agree that simple polygenic exogenous-constitutional obesity is the primary cause, accounting for more than 90% of all cases. In this case, the environment is the key developmental factor [14].

Unlike North America and Europe, where 29% boys and 27% girls aged 2–15 are overweight or obese [34], several epidemiological and cohort studies in Russia have shown an uneven prevalence of the condition. The studies found that the prevalence of overweight cases was in the range of 3.9%–5.5% and the prevalence of obesity was in the range of 1.2%–25.3%, depending on the age, sex, and living conditions of the children in different regions of the Russian Federation [16–18, 31].

Such unevenness depends on several factors, including the environment in the residence region, residence duration, economy, and other environmental conditions. Together, these factors predict modifiable and non-modifiable risks of lipid and energy metabolism disorders, making a specific map of obesity in each climate and geographic area. Accordingly, the share of pediatric obesity in the total population of the Arkhangelsk Region and other regions will be determined by the presence and accessibility of obesity triggers at different stages of a child's life in a given region [14]. The concept proposed by Kozlov *et al.* highlights the importance of human ecosystem factors [35]. The authors investigate the uneven growth and population of the metabolic pandemic in relation to previously proposed hypotheses (*thrifty genotype*, *drifting genotype*, and *late thriftiness*) considering the genogeography and human ecosystem of the region of residence. This approach aims to eliminate contradictions in relation to the limited genetic contribution (up to 20%) to obesity pathogenesis. The authors use reference conditions of successful adaptation as a basis for comparison, considering environmental parameters that determine the adaptive characteristics of basic metabolic intensity and adipose tissue content in different populations from 60,000 to 10,000 years ago [35–43]. From this perspective, one factor contributing to the spread of obesity could be the migration of groups that have adapted to specific conditions to areas with different natural stresses, such as extreme cold or heat. The Arkhangelsk Region, which is huge in terms of territory but small in terms of population, is undoubtedly genetically diverse and may be used a model for these processes. The region is inhabited by indigenous Arctic peoples (Nenets and Komi) and other ethnic groups from different regions of the former USSR, who arrived at different times and for various reasons.

For example, native inhabitants of the Far North have a phylogenic protein and lipid metabolism, low availability of "fast" carbohydrates, and significant natural cold stress. Moving to an urban environment farther south with an abundance of sugars in food, including imported fruit and juices, which are useful but foreign to the individual, will affect optimal energy metabolism. Conversely, someone else will experience heat stress, insolation, periods of hypocaloric intake, motor

stress, and a lack of traditional foods in relatively harsh climatic conditions in a region with an abundance of food and excess calories. In other words, phylogenetic morphophysiological characteristics that were once adaptive have become maladaptive and healthy stresses associated with metabolic optimization are displaced or supplemented by anxiety disorders related to eating disorders. This assumption seems plausible when considering the ethnic diversity of the small population in the Arkhangelsk Region.

Importantly, in addition to population-level assumptions that explain the growth of metabolic disorders, individual hypotheses (*thrifty phenotype*) are becoming more prevalent. These assumptions provide that cardiometabolic disorders in a fetus caused by maternal malnutrition is epigenetically programmed during fetal development. These risks manifest later in life with abundant food and sedentary behavior [44, 45]. Maternal malnutrition may be true. In this case, the difficulties of the 1990s and the low birth rate in the Russian Federation during this period would support the *thrifty phenotype* hypothesis. However, malnutrition could also be caused by unconscious neurotic anorexia (fear of gaining weight in the Barbie era) or existing metabolic disorders in the pregnant woman (e.g., arterial hypertension, gestational and pregestational diabetes, and obesity) and excessive weight gain during pregnancy.

Moreover, it is difficult to overfeed a child with healthy food. However, it is quite possible to overfeed a child with “fast” carbohydrates, including as a reward for the behavior expected from the child. Several psychological factors act as prerequisites for obesity in children and adolescents, including personal traits such as low self-esteem, high levels of comfort eating, increased anxiety, and alexithymia, as well as sociocultural factors such as family food priorities, social expectations, and reference groups. Sociocultural factors play a fundamental role in developing destructive eating habits during childhood and adolescence. Personal traits also contribute to this process. From birth to early adolescence, the family is the main determinant of a child’s food behavior as children depend on adult eating behavior models at this age. These models are adopted uncritically and later influence unconscious lifestyle attitudes.

The psychosomatic model of emotiogenic eating behavior reflects the phenomenon of using food to encourage desired child behavior and provide comfort in times of adversity. This model combines social learning theory and stress theory. For example, in contemporary society, the idea of finishing an entire meal is stronger than the idea of eating only what is necessary to satisfy hunger. The image of a good child who eats everything offered to avoid irritating or offending an adult is often promoted. The discrepancy between natural hunger-quenching needs and the demands of food stereotypes and adult expectations creates psychosocial tension. This shifts control from internal satiety signals to external stimuli, such as rewards or reprimands, which contributes to the development of externalized eating disorders. These disorders may

lead to emotiogenic eating disorders in adulthood when faced with long-term or chronic stress [46].

Thus, a 300% true increase in obesity in children (aged 0–14) was observed in the Arkhangelsk Region in 1991–2022. Background factors may include regional diversity of *thrifty genotypes* and *phenotypes*, *drifting genes*, *late thrifty genes*, and human ecosystem conditions such as the region’s environment and management system. The catalysts are the difficulties of the 1990s followed by prosperity; computer game hypodynamia, which has led to a loss of the natural need for movement in children; a higher share of fast food in diets; the sheer quantity, appeal, and availability of surrogate sweet calories, and neurotic pressure from adults in the form of demands and expectations.

The underestimation of ORM rates in the Arkhangelsk Region during the COVID-19 pandemic seems to be related to healthcare system restructuring and its shift in focus to primary infectious disease treatment.

Although the analyzed morbidity rates are related to the utilization of healthcare services, which may affect the reliability of the initial data given the described diagnostic peculiarities, the child population (aged 0–14) is not the true and main contributor to the growth of ORM rates in the Arkhangelsk Region in 1991–2022. Instead, it may be an early manifestation of a large-scale maladaptation of the population outside of ecological homeostasis. Research indicates that 7 to 9 out of 10 obese preschool children will remain obese by the age of 14, as well as 7 to 8 obese adolescents out of 10 will remain obese in adulthood [14, 47].

CONCLUSION

The study of the dynamic characteristics of primary ORM in the population showed its growth until 2006 followed by a decrease and a slower increase in morbidity rates. During the thirty-year observation period, changes in primary ORM were driven by morbidity changes in the 0–14 age group. However, separate fluctuations, including the decrease in morbidity in 2006–2022, were driven by changes in ORM in adults. The chronic nature of ORM in the population is characterized by a persistent trend towards increased chronicity. During the COVID-19 pandemic, 16.8% (555 people) primary ORM cases were uncouncted.

We need obesity recording, treatment, and prevention programs, especially pediatric obesity, to reduce the cardio-metabolic burden on the population and mitigate other risks. This is particularly important given the demand for development of the Russian Arctic and the need to protect the region’s health.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors’ contribution. K.V. Shelygin — concept development, mathematical and statistical analysis of data, writing and editing of the article, preparation of the article; A.V. Strelkova — literature review, collection and analysis of literary sources, writing and editing of the article; L.I. Lozhkina — literature review, collection

and analysis of literary sources, writing and editing of the article; S.I. Malyavskaya — writing and editing of the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

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

Competing interests. The authors declares that there are no obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. К.В. Шелыгин — разработка концепции, математико-статистический анализ данных, написание текста

и редактирование статьи, подготовка статьи, А.В. Стрелкова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; Л.И. Ложкина — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; С.И. Малявская — написание текста и редактирование статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

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

REFERENCES

- Logvinova OV, Poydasheva AG, Bakulin IS, et al. Modern concepts of the pathogenesis of obesity and new approaches to its correction. *Obesity and Metabolism*. 2018;15(2):11–16. EDN: OWOUKT doi: 10.14341/OMET9491
- Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO Consultation on Obesity, Geneva, 3–5 June 1997 [cited 2024 Sep 12]. Available from: <https://iris.who.int/handle/10665/63854>
- Dedov II, Shestakova MV, Galstyan GR. The prevalence of type 2 diabetes mellitus in the adult population of Russia (NATION study). *Diabetes Mellitus*. 2016;19(2):104–112. EDN: WBAQHX doi: 10.14341/DM2004116–17
- Report on the fifth round of data collection, 2018–2020: WHO European Childhood Obesity Surveillance Initiative (COSI) [cited 2024 Sep 12]. Available from: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2022-6594-46360-67071>
- Center for Demographic Research of the New Economic School: Database [cited 2024 Sep 12]. Available from: <https://www.nes.ru/demogr-fermort-data>
- Volova TL, Shelygin KV, Menshikova LI, Redko AN. The influence of changes in the organization of medical care on the indicators of mental disorders in children. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(2):99–108. EDN: RIQQA doi: 10.17816/humeco80632
- Andreeva EN, Baibarina MB, Biryukova EV. Obesity: Etiology, Pathogenesis, Clinical Aspects: Hands for Doctors. Moscow: Med. Inform. Agentstvo; 2004. (In Russ.)
- Vasyukova OV. Obesity in children and adolescents: diagnosis criteria. *Obesity and Metabolism*. 2019;16(1):70–73. EDN: NHIPXP doi: 10.14341/omet10170
- Butrova SA, Dzgoeva FKh. Visceral obesity is a key link in the metabolic syndrome. *Obesity and Metabolism*. 2004;1(1):10–16. EDN: OPHDEL doi: 10.14341/2071-8713-5173
- Uchamprina VA, Romantsova TI, Kalashnikov MF. Metabolic syndrome: arguments pro's and con's. *Obesity and Metabolism*. 2012;9(2):17–27. EDN: PEHMUV doi: 10.14341/omet2012217-27
- Alberti KG, Eckel RH, Scott MG, et al. Harmonizing the metabolic syndrome: a joint interim statement of the international diabetes federation task force on epidemiology and prevention; national heart, lung, and blood institute; American heart association; world heart federation; international atherosclerosis society; and international association for the study of obesity. *Circulation*. 2009;120(16):1640–1645. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644
- Garvey W, Garber A, Mechanick J, et al. American Association of Clinical Endocrinologists (AACE) and American College of Endocrinology (ACE) Position Statement on the 2014 Advanced Framework for a New Diagnosis of Obesity as a Chronic Disease. *Endocr Pract*. 2014;20(9):977–989. doi: 10.4158/EP14280.PS
- Strizheletsky VV, Gomom YuM, Spichakova EA, et al. Drug therapy for obesity in the Russian Federation: pharmacoepidemiological study. *Farmakoekonomika. Modern Pharmacoconomics and Pharmacoepidemiology*. 2022;15(3):320–331. EDN: LUEFWQ doi: 10.17749/2070-4909/farmakoekonomika.2022.149
- Deal BJ, Huffman MD, Binns H, Stone NJ. Perspective: childhood obesity requires new strategies for prevention. *Adv Nutr*. 2020;11(5):1071–1078. doi: 10.1093/advances/nmaa040
- Peterkova VA, Bezlepina OB, Bolotova NV, et al. Clinical guidelines «Obesity in children». *Problems of Endocrinology*. 2021;67(5):67–83. EDN: IXIZSV doi: 10.14341/probl12802
- Lir DN, Kozlov AI, Vershubsky GG, et al. Overweight and obesity in children 7–17 years old in Northwestern Russia and the Cis-Urals. *Moscow University Anthropology Bulletin*. 2018;(3):55–60. EDN: VRCFRC doi: 10.32521/2074-8132.2018.3.055-060
- Dmitrieva TG, Rybochkina AV. Regional, ethnic and socio-economic aspects of obesity in children. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Seriya: Medical Sciences*. 2022;(2):12–19. EDN: JZDQUM doi: 10.25587/SVFU.2022.27.2.002
- Savina AA, Feyginova SI. Obesity prevalence in population of the Russian Federation: before the COVID-19 pandemic. *Social Aspects of Population Health*. 2022;68(5):4. EDN: EOYEAN doi: 10.21045/2071-5021-2022-68-5-4
- Cole TJ. A method for assessing age-standardized weight-for-height in children seen cross-sectionally. *Ann Hum Biol*. 1979;6(3):249–268. doi: 10.1080/03014467900007252
- Must A, Dallal GE, Dietz WH. Reference data for obesity: 85th and 95th percentiles of body mass index (wt/ht²) and triceps skinfold thickness. *Am J Clin Nutr*. 1991;53(4):839–846. doi: 10.1093/ajcn/53.4.839
- de Onis M, Onyango AW, Borghi E, et al. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bull World Health Organ*. 2007;85(9):660–667. doi: 10.2471/BLT.07.043497
- Makarova SG. Is there really a need to create “regional percentile curves” of mass and height indices? (comment on the article by R.R. Kildiyarova “Assessment of children’s physical development using percentile diagrams”). *Current Pediatrics*. 2017;16(5):438–440. EDN: ZTIYMB doi: 10.15690/vsp.v16i5.1809
- WHO Multicentre Growth Reference Study Group. WHO Child Growth Standards based on length/height, weight and age. *Acta Paediatr Suppl*. 2006;450:76–85. doi: 10.1111/j.1651-2227.2006.tb02378.x
- Dedov II, Peterkova VA, editors. Diagnosis and treatment of obesity in children and adolescents. In: *Federal clinical guidelines (protocols) for the management of children with endocrine diseases*. Moscow: Praktika; 2014. P. 163–183. (In Russ.)
- Peterkova VA, Nagaeva EV, Shiryayeva TYu. Assessment of physical development of children and adolescents: methodological recommendations. Moscow: Russian Association of Endocrinologists, 2017. (In Russ.)
- Vasyukova OV, Okorokov PL, Bezlepina OB. Modern strategies for the treatment of childhood obesity. *Problems of Endocrinology*. 2022;68(6):131–136. EDN: ERVHYW doi: 10.14341/probl13208
- Kumar S, Kaufman T. Childhood obesity. *Panminerva Med*. 2018;60(4):200–212. doi: 10.23736/S0031-0808.18.03557-7
- Gurnani M, Birken C, Hamilton J. Childhood obesity: causes, consequences, and management. *Pediatr Clin North Am*. 2015;62(4):821–840. doi: 10.1016/j.pcl.2015.04.001
- Dean E. Childhood obesity. *Nurs Stand*. 2016;31(1):15. doi: 10.7748/ns.31.1.15.s17
- Güngör N.K. Overweight and obesity in children and adolescents. *J Clin Res Pediatr Endocrinol*. 2014;3(6):129–143. doi: 10.4274/Jcrpe.1471

31. Gritsinskaya VL, Novikova VP, Khavkin AI. Epidemiology of obesity in children and adolescents (systematic review and meta-analysis of publications over a 15-year period). *Clinical Practice in Pediatrics*. 2022;17(2):126–135. EDN: BTFVGE doi: 10.20953/1817-7646-2022-2-126-135.
32. Mamathujaeva GM. Current status of research on the features of epidemiology and diagnosis of obesity in children and adolescents (literature review). *International Journal of Scientific Pediatrics*. 2022;(3):23–34. EDN: WPLFMU doi: 10.56121/2181-2926-2022-3-23-34
33. Dakhlilgova HT. Childhood obesity: the current state of the problem. *Pediatric Nutrition*. 2019;17(5):47–53. EDN: RTMOXU doi: 10.32521/2074-8132.2018.3.055-060
34. Global health estimates: life expectancy and leading causes of death and disability. Global Health Observatory. Geneva: World Health Organization, 2021 [cited 2024 Sep 12]. Available from: <https://www.who.int/data/global-health-estimates>
35. Kozlov AI, Gasanov EV, Parfenteva OI. Modern interpretations of evolutionary, anthropological and ecological aspects of the “thrifty genotype” hypothesis. *Moscow University Anthropology Bulletin. Series 23: Anthropology*. 2023;(4):47–57. EDN: DSTBSV doi: 10.32521/2074-8132.2023.4.047-057
36. Neel JV. Diabetes mellitus: A “thrifty” genotype rendered detrimental by “progress”? *Am J Hum Genet*. 1962;14(4):353–362.
37. Neel JV. The “Thrifty Genotype” in 1998. *Nutr Rev*. 1999;57(5 Pt 2):S2–S9.
38. Ayub Q, Moutsianas L, Chen Y, et al. Revisiting the thrifty gene hypothesis via 65 loci associated with susceptibility to type 2 diabetes. *Am J Hum Genet*. 2014;94(2):176–185. doi: 10.1016/j.ajhg.2013.12.010
39. Jobling MA, Hurles ME, Tyler-Smith C. Human evolutionary genetics. New York: Garland Science; 2004. doi: 10.1016/j.jhevol.2004.08.002
40. Prentice AM. Starvation in humans: evolutionary background and contemporary implications. *Mech Ageing Dev*. 2005;126(9):976–981. doi: 10.1016/j.mad.2005.03.018
41. Locke AE, Kahali B, Berndt SI, et al. Genetic studies of body mass index yield new insights for obesity biology. *Nature*. 2015;518(7538):197–206. doi: 10.1038/nature14177
42. Sellayah D. The impact of early human migration on brown adipose tissue evolution and its relevance to the modern obesity pandemic. *J Endocrine Soc*. 2019; 3(2):372–386. doi: 10.1210/js.2018-00363.
43. Sellayah D, Cagampang F, Cox R. On the evolutionary origins of obesity: a new hypothesis. *Endocrinology*. 2014;155(5):1573–1588. doi: 10.1210/en.2013-2103
44. Hales CN, Barker DJ. The thrifty phenotype hypothesis. *Br Med Bull*. 2001;60:5–20. doi: 10.1093/bmb/60.1.5
45. Barker D. The midwife, the coincidence, and the hypothesis. *Br Med J*. 2003;327(7429):1428–1430. doi: 10.1136/bmj.327.7429.1428
46. Leonova EN. Socio-psychological types of eating behavior. *Bulletin of Udmurt University. Series: Philosophy. Psychology. Pedagogy*. 2017;27(2):174–181. EDN: ZDDEKJ
47. Dubov AV. The ecological homeorhesis as a basis of the evolutionary change. *Fundamental Research*. 2005;(10):77–78. EDN: IUJUCF

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логвинова О.В., Пойдашева А.Г., Бакулин И.С., и др. Современные представления о патогенезе ожирения и новых подходах к его коррекции // Ожирение и метаболизм. 2018. Т. 15, № 2. С. 11–16. EDN: OWOUKT doi: 10.14341/OMET9491
2. Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO Consultation on Obesity, Geneva, 3–5 June 1997. Режим доступа: <https://iris.who.int/handle/10665/63854> Дата обращения: 12.09.2024.
3. Дедов И.И., Шестакова М.В., Галстян Г.Р. Распространённость сахарного диабета 2 типа у взрослого населения России (исследование NATION) // Сахарный диабет. 2016. Т. 19, № 2. С. 104–112. EDN: WBAQHX doi: 10.14341/DM2004116-17
4. Report on the fifth round of data collection, 2018–2020: WHO European Childhood Obesity Surveillance Initiative (COSI). Режим доступа: <https://www.who.int/europe/publications/item/WHO-EURO-2022-6594-46360-67071> Дата обращения: 12.09.2024.
5. Центр демографических исследований Российской экономической школы: База данных. Режим доступа: <https://www.nes.ru/demogr-fermort-data> Дата обращения: 12.09.2024.
6. Волова Т.Л., Шелыгин К.В., Меньшикова Л.И., Редько А.Н. Влияние изменений в организации медицинской помощи на показатели заболеваемости детей психическими расстройствами // Экология человека. 2022. Т. 29, № 2. С. 99–108. EDN: RIQGEA doi: 10.17816/humeco80632
7. Андреева Е.Н., Бабарина М.Б., Бирюкова Е.В. Ожирение: этиология, патогенез, клинические аспекты: рук. для врачей. Москва: Мед. информ. агентство, 2004.
8. Васюкова О.В. Ожирение у детей и подростков: критерии диагноза // Ожирение и метаболизм. 2019. Т. 16, № 1. С. 70–73. EDN: NHIPXP doi: 10.14341/omet10170
9. Бутрова С.А., Дзгоева Ф.Х. Висцеральное ожирение — ключевое звено метаболического синдрома // Ожирение и метаболизм. 2004. Т. 1, № 1. С. 10–16. EDN: OPHDEL doi: 10.14341/2071-8713-5173
10. Учамприна В.А., Романцова Т.И., Калашникова М.Ф. Метаболический синдром: аргументы «за» и «против» // Ожирение и метаболизм. 2012. Т. 9, № 2. С. 17–27. EDN: PEHMUV doi: 10.14341/omet2012217-27
11. Alberti K.G., Eckel R.H., Scott M.G., et al. Harmonizing the metabolic syndrome: a joint interim statement of the international diabetes federation task force on epidemiology and prevention; national heart, lung, and blood institute; American heart association; world heart federation; international atherosclerosis society; and international association for the study of obesity // *Circulation*. 2009. Vol. 120, N 16. P. 1640–1645. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644
12. Garvey W., Garber A., Mechanick J., et al. American Association of Clinical Endocrinologists (AACE) and American College of Endocrinology (ACE) Position Statement on the 2014 Advanced

- Framework for a New Diagnosis of Obesity as a Chronic Disease // *Endocr Pract*. 2014. Vol. 20, N 9. P. 977–989. doi: 10.4158/EP14280.PS
13. Стрижелецкий В.В., Гомон Ю.М., Спичакова Е.А., и др. Лекарственная терапия ожирения в Российской Федерации: фармакоэпидемиологическое исследование // *Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология*. 2022. Т. 15, № 3. С. 320–331. EDN: LUEFWQ doi: 10.17749/2070-4909/farmakoekonomika.2022.149
14. Deal B.J., Huffman M.D., Binns H., Stone N.J. Perspective: childhood obesity requires new strategies for prevention // *Adv Nutr*. 2020. Vol. 11, N 5. P. 1071–1078. doi: 10.1093/advances/nmaa040
15. Петеркова В.А., Безлепкина О.Б., Болотова Н.В., и др. Клинические рекомендации «Ожирение у детей» // *Проблемы эндокринологии*. 2021. Т. 67, № 5. С. 67–83. EDN: IXIZSV doi: 10.14341/probl12802
16. Лир Д.Н., Козлов А.И., Вершубская Г.Г., и др. Избыточная масса тела и ожирение у детей 7–17 лет Северо-Запада РФ и Приуралья // *Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология*. 2018. № 3. С. 55–60. doi: 10.32521/2074-8132.2018.3.055-060
17. Дмитриева Т.Г., Рыбочкина А.В. Региональные, этнические и социально-экономические аспекты ожирения у детей // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Медицинские науки*. 2022. № 2. С. 12–19. EDN: JZDQUM doi: 10.25587/SVFU.2022.27.2.002
18. Савина А.А., Фейгинова С.И. Распространённость ожирения среди населения Российской Федерации: период до пандемии COVID-19 // *Социальные аспекты здоровья населения*. 2000. Т. 68, № 5. С. 4. EDN: EOYEAN doi: 10.21045/2071-5021-2022-68-5-4
19. Cole T.J. A method for assessing age-standardized weight-for-height in children seen cross-sectionally // *Ann Hum Biol*. 1979. Т. 6, N 3. P. 249–268. doi: 10.1080/03014467900007252
20. Must A., Dallal G.E., Dietz W.H. Reference data for obesity: 85th and 95th percentiles of body mass index (wt/ht²) and triceps skinfold thickness // *Am J Clin Nutr*. 1991. Vol. 53, N 4. P. 839–846. doi: 10.1093/ajcn/53.4.839
21. de Onis M., Onyango A.W., Borghi E., et al Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents // *Bull World Health Organ*. 2007. Vol. 85, N 9. P. 660–667. doi: 10.2471/BLT.07.043497
22. Макарова С.Г. Действительно ли существует необходимость в создании «региональных перцентильных кривых» массовых показателей? (комментарий к статье Р.Р. Кильдияровой «Оценка физического развития детей с помощью перцентильных диаграмм») // *Вопросы современной педиатрии*. 2017. Т. 16, № 5. P. 438–440. EDN: ZTIYMB doi: 10.15690/vsp.v16i5.1809
23. WHO Multicentre Growth Reference Study Group. WHO Child Growth Standards based on length/height, weight and age // *Acta Paediatr Suppl*. 2006. Vol. 450. P. 76–85. doi: 10.1111/j.1651-2227.2006.tb02378.x
24. Диагностика и лечение ожирения у детей и подростков. В кн.: Федеральные клинические рекомендации (протоколы) по ведению детей с эндокринными заболеваниями / под ред. И.И. Дедова и В.А. Петерковой. Москва: Практика, 2014. С. 163–183.
25. Петеркова В.А., Нагаева Е.В., Ширяева Т.Ю. Оценка физического развития детей и подростков: методические рекомендации. Москва: Российская ассоциация эндокринологов, 2017.
26. Васюкова О.В., Окороков П.Л., Безлепкина О.Б. Современные стратегии лечения ожирения у детей // *Проблемы эндокринологии*. 2022. Т. 68, № 6. С. 131–136. EDN: ERVHYW doi: 10.14341/probl13208
27. Kumar S., Kaufman T. Childhood obesity // *Panminerva Med*. 2018. Vol. 60, N 4. P. 200–212. doi: 10.23736/S0031-0808.18.03557-7
28. Gurnani M., Birken C., Hamilton J. Childhood obesity: causes, consequences, and management // *Pediatr Clin North Am*. 2015. Vol. 62, N 4. P. 821–840. doi: 10.1016/j.pcl.2015.04.001
29. Dean E. Childhood obesity // *Nurs Stand*. 2016. Vol. 31, N 1. P. 15. doi: 10.7748/ns.31.1.15.s17
30. Güngör N.K. Overweight and obesity in children and adolescents // *J Clin Res Pediatr Endocrinol*. 2014. Vol. 3, N 6. P. 129–143. doi: 10.4274/Jcrpe.1471
31. Грицинская В.Л., Новикова В.П., Хавкин А.И. К вопросу об эпидемиологии ожирения у детей и подростков (систематический обзор и метаанализ научных публикаций за 15-летний период) // *Вопросы практической педиатрии*. 2022. Т. 17, № 2. С. 126–135. EDN: BTFVGE doi: 10.20953/1817-7646-2022-2-126-135
32. Маматхужаева Г.Н. Современное состояние изучения эпидемиологии и диагностики ожирения у детей и подростков (обзор литературы) // *Международный журнал научной педиатрии*. 2022. Т. 1, № 3. С. 23–34. EDN: WPLFMU doi: 10.56121/2181-2926-2022-3-23-34
33. Дахкильгова Х.Т. Детское ожирение: современное состояние проблемы // *Вопросы детской диетологии*. 2019. Т. 17, № 5. С. 47–53. EDN: RTMOXU doi: 10.20953/1727-5784-2019-5-47-53
34. Global health estimates: life expectancy and leading causes of death and disability. Global Health Observatory. Geneva: World Health Organization, 2021. Режим доступа: <https://www.who.int/data/global-health-estimates> Дата обращения: 12.09.2024
35. Козлов А.И., Гасанов Е.В., Парфентьева О.И. Современные трактовки эволюционных и антропоэкологических аспектов гипотезы «экономного гено типа» // *Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология*. 2023. № 4. С. 47–57. EDN: DSTBSV doi: 10.32521/2074-8132.2023.4.047-057
36. Neel J.V. Diabetes mellitus: A “thrifty” genotype rendered detrimental by “progress”? // *Am J Hum Genet*. 1962. Vol. 14, N 4. P. 353–362.
37. Neel J.V. The “Thrifty Genotype” in 1998 // *Nutr Rev*. 1999. Vol. 57, N 5, Pt 2. P. S2–S9.
38. Ayub Q., Moutsianas L., Chen Y., et al. Revisiting the thrifty gene hypothesis via 65 loci associated with susceptibility to type 2 diabetes // *Am J Hum Genet*. 2014. Vol. 94, N 2. P. 176–185. doi: 10.1016/j.ajhg.2013.12.010
39. Jobling M.A., Hurler M.E., Tyler-Smith C. Human evolutionary genetics. New York: Garland Science, 2004. doi: 10.1016/j.jhevol.2004.08.002
40. Prentice A.M. Starvation in humans: evolutionary background and contemporary implications // *Mech Ageing Dev*. 2005. Vol. 126, N 9. P. 976–981. doi: 10.1016/j.mad.2005.03.018

41. Locke A.E., Kahali B., Berndt S.I., et al. Genetic studies of body mass index yield new insights for obesity biology // *Nature*. 2015. Vol. 518, N 7538. P. 197–206. doi: 10.1038/nature14177
42. Sellayah D. The impact of early human migration on brown adipose tissue evolution and its relevance to the modern obesity pandemic // *J Endocrine Soc*. 2019. Vol. 3, N 2. P. 372–386. doi: 10.1210/js.2018-00363
43. Sellayah D., Cagampang F., Cox R. On the evolutionary origins of obesity: a new hypothesis // *Endocrinology*. 2014. Vol. 155, N 5. P. 1573–1588. doi: 10.1210/en.2013-2103
44. Hales C.N., Barker D.J. The thrifty phenotype hypothesis // *Br Med Bull*. 2001. Vol. 60. P. 5–20. doi: 10.1093/bmb/60.1.5
45. Barker D. The midwife, the coincidence, and the hypothesis // *Br Med J*. 2003. Vol. 327, N 7429. P. 1428–1430. doi: 10.1136/bmj.327.7429.1428
46. Леонова Е.Н. Социально-психологические типы пищевого поведения // *Вестник Удмуртского университета. Серия: Философия. Психология. Педагогика*. 2017. Т. 27, № 2. С. 174–181. EDN: ZDDEKJ
47. Дубов А.В. Экологический гомеорез как основа эволюции // *Фундаментальные исследования*. 2005. № 10. С. 77–78. EDN: IUJUCF

AUTHORS' INFO

***Kirill V. Shelygin**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 51 Troickij ave., Arhangelsk, Russia, 163000;
ORCID: 0000-0002-4827-2369;
eLibrary SPIN: 7787-6746;
e-mail: shellugin@yandex.ru

Alexandra V. Strelkova, MD, Cand. Sci (Medicine);
ORCID: 0000-0002-9077-889X;
eLibrary SPIN: 1890-4879;
e-mail: al.strelkova@yandex.ru

Lada I. Lozhkina, Cand. Sci. (Psychology);
ORCID: 0000-0002-3687-6122;
eLibrary SPIN: 5094-9436;
e-mail: lada1@yandex.ru

Svetlana I. Malyavskaya, MD, Dr. Sci (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-2521-0824;
eLibrary SPIN: 6257-4400;
e-mail: malyavskaya@yandex.ru

ОБ АВТОРАХ

***Шельгин Кирилл Валерьевич**, д-р мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 163000, Архангельск, пр. Троицкий, д. 51;
ORCID: 0000-0002-4827-2369;
eLibrary SPIN: 7787-6746;
e-mail: shellugin@yandex.ru

Стрелкова Александра Витальевна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9077-889X;
eLibrary SPIN: 1890-4879;
e-mail: al.strelkova@yandex.ru

Ложкина Лада Ивановна, канд. психол. наук;
ORCID: 0000-0002-3687-6122;
eLibrary SPIN: 5094-9436;
e-mail: lada1@yandex.ru

Малыавская Светлана Ивановна, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-2521-0824;
eLibrary SPIN: 6257-4400;
e-mail: malyavskaya@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

Оценка динамики гигиенических показателей питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки

В.Д. Шмелева^{1, 2, 3}, Л.В. Кислицына¹, О.Б. Романова¹, М.В. Аленицкая², Е.С. Пугачева²¹ Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае, Владивосток, Россия;² Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;³ Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Хотя большая часть питьевой воды централизованных систем водоснабжения соответствует действующим стандартам, всё ещё остаётся вероятность изменения качества воды у конечного потребителя после её транспортировки по системе трубопроводов.

Цель. Оценить динамику состава питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки на примере Приморского края.

Материалы и методы. Проанализированы результаты лабораторных испытаний за 2016–2022 гг., выполненных ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае» в рамках социально-гигиенического мониторинга (189 мониторинговых точек). Сведение данных до и после подачи в распределительную сеть выполнено в Microsoft Office Excel, аналитическая часть по 18 показателям (19 485 парных сравнений) — в IBM SPSS Statistics, пространственная визуализация — в ArcGIS 10.8.2.

Результаты. Среди гигиенических показателей цветность воды значимо ($p=0,005$) увеличивается после прохождения через систему труб водоснабжения. Согласно корреляционному анализу, увеличение цветности, возможно, связано с железом, марганцем и перманганатной окисляемостью (соответственно $r=0,28$; $r=0,21$; $r=0,13$ при $p < 0,05$). Водородный показатель изменяется в сторону кислой среды, особенно в летний период ($\chi^2=14,5$; $p=0,002$). Оценка влияния типа водоразборного устройства выявила тенденцию железа и некоторых микробиологических показателей накапливаться в системах водоразборных колонок, в то время как для внутренних водоразборных устройств характерно уменьшение концентраций данных показателей. Отмечена индикаторная значимость микробиологических показателей (обобщённые колиформные бактерии, *E. Coli*, энтерококки), введённых недавно в нормативные документы по гигиенической оценке качества воды. Они чаще обнаруживаются в распределительной сети, чем исключённые к настоящему моменту общие и термотолерантные колиформные бактерии. Пространственный анализ доли проб питьевой воды, ухудшающихся в процессе транспортировки, позволил выделить водопроводы края, где транспортировка является приоритетным фактором ухудшения качества воды.

Заключение. Ретроспективный анализ динамики состава питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки определил наиболее подверженные изменениям показатели, что может быть использовано при планировании модернизации систем водоснабжения и водоподготовки.

Ключевые слова: системы питьевого централизованного водоснабжения; ЦВС; транспортировка; динамика; анализ; социально-гигиенический мониторинг.

Как цитировать:

Шмелева В.Д., Кислицына Л.В., Романова О.Б., Аленицкая М.В., Пугачева Е.С. Оценка динамики гигиенических показателей питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки // Экология человека. 2024. Т. 31, № 5. С. 380–392.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

Assessment of changes in hygienic indicators of drinking water from centralized water supply systems during transportation

Valeriya D. Shmeleva^{1, 2, 3}, Lidiya V. Kislitsyna¹, Olga B. Romanova¹, Marina V. Alenitckaia², Eva S. Pugacheva²

¹ Center of Hygiene and Epidemiology in Primorsky Region, Vladivostok, Russia;

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

³ Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Although the majority of drinking water from centralized water supply systems meets the established standards, its quality still may be compromised during its transportation to the end user via pipeline systems.

AIM: To assess the changes in the composition of drinking water from centralized water supply systems during transportation with the Primorsky Territory as an example.

MATERIALS AND METHODS: The findings of the 2016–2022 laboratory studies conducted by the Center for Hygiene and Epidemiology in the Primorsky Territory as part of the social and hygienic monitoring program (189 monitoring points) were subjected to analysis. The pre- and post-distribution network data were compared using Microsoft Office Excel. The analysis of 18 indicators (19,485 pairwise comparisons) was conducted using IBM SPSS Statistics, while spatial visualization was performed with ArcGIS 10.8.2.

RESULTS: Among the hygienic indicators, the color of water significantly ($p=0.005$) intensifies after passing via the water supply pipeline system. Correlation analysis indicates that the color intensification may be attributed to the oxidizability of iron, manganese, and permanganate ($r=0.28$; $r=0.21$; $r=0.13$ at $p < 0.05$, respectively). The hydrogen index demonstrates a tendency to shift towards an acidic medium, particularly during the summer months ($\chi^2=14.5$; $p=0.002$). The assessment of the influence of the water dispenser type revealed a tendency of the iron and some microbiological indicators to accumulate in standpipe systems, while the concentrations of these indicators were found to be decreased in building taps. The indicative significance of the microbiological indicators (generalized coliform bacteria, *E. coli*, enterococci) was recently highlighted in regulatory documents on the hygienic assessment of water quality. These bacteria are more frequently found in the distribution network than the nowadays excluded coliform bacteria, both general and thermotolerant. A spatial analysis of the proportion of drinking water samples that deteriorate during transportation enabled the identification of the water supply systems in the region where transportation represents a significant factor influencing the deterioration of water quality.

CONCLUSION: The retrospective analysis of the changes in the composition of drinking water from centralized water supply systems during transportation identified the indicators that are most susceptible to changes. This can be used when planning the upgrade of the water supply and treatment systems.

Keywords: centralized drinking water supply systems; DWDS; transportation; dynamics; analysis; social-hygienic monitoring.

To cite this article:

Shmeleva VD, Kislitsyna LV, Romanova OB, Alenitckaia MV, Pugacheva ES. Assessment of changes in hygienic indicators of drinking water from centralized water supply systems during transportation. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):380–392.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

Received: 08.05.2024

Accepted: 12.11.2024

Published online: 04.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

集中供水系统输送过程中饮用水卫生指标变化的评估

Valeriya D. Shmeleva^{1, 2, 3}, Lidiya V. Kislitsyna¹, Olga B. Romanova¹,
Marina V. Alenitckaia², Eva S. Pugacheva²

¹ Center of Hygiene and Epidemiology in Primorsky Region, Vladivostok, Russia;

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

³ Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

摘要

背景。尽管集中供水系统的大部分饮用水符合现行标准，但在通过管网输送至最终用户的过程中，其水质可能发生显著变化。

研究目的。以滨海边疆区为例，评估集中供水系统输送过程中饮用水成分的动态变化。

材料与方法。分析了2016 – 2022年期间由滨海边疆区公共卫生与流行病学中心测试实验室（Center for Hygiene and Epidemiology in the Primorsky Territory）在社会卫生监测框架下完成的实验室检测结果（共189个监测点）。利用Microsoft Office Excel对供水网络分配前后数据进行整理，并使用IBM SPSS Statistics对18项指标（19,485对比数据）进行分析。同时，通过ArcGIS 10.8.2进行空间可视化。

结果。卫生指标显示，水的色度在通过供水管网后显著增加（ $p=0.005$ ）。相关性分析表明，色度增加可能与铁、锰和高锰酸盐指数相关（相关系数分别为 $r=0.28$ ； $r=0.21$ ； $r=0.13$ ， $p < 0.05$ ）。pH值倾向于向酸性方向变化，尤其是在夏季（ $\chi^2=14.5$ ； $p=0.002$ ）。不同类型取水装置的影响评估显示，铁和某些微生物指标更容易在水柱取水系统中积累，而在建筑物水龙头中这些指标的浓度有所下降。最近被纳入水质卫生评估规范的微生物指标（综合大肠菌群、*E. coli* 和肠球菌）被证明具有重要的指示意义，这些指标在分配网络中更常被检测到，而之前被排除的总大肠菌群和耐热大肠菌群检测频率较低。饮用水在输送过程中质量下降样本比例的空间分析突出了一些管网，这些管网输送过程对水质恶化起到了主要作用。

结论。集中供水系统输送过程中饮用水成分变化的回顾性分析确定了最容易发生变化的关键指标。这些结果可为供水和水处理系统的现代化规划提供依据。

关键词：集中供水系统；CWS；输送；动态；分析；社会卫生监测。

引用本文：

Shmeleva VD, Kislitsyna LV, Romanova OB, Alenitckaia MV, Pugacheva ES. 集中供水系统输送过程中饮用水卫生指标变化的评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):380–392. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco631755>

收到: 08.05.2024

接受: 12.11.2024

发布日期: 04.12.2024

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время качество питьевой воды с точки зрения физико-химической и микробиологической безопасности является предметом научных исследований в связи с его влиянием на здоровье человека [1, 2]. Формирование качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения происходит поэтапно, начиная от исходного состояния воды источника водоснабжения, зависящего от его местонахождения и защищённости от внешних воздействий, дальнейшей коррекции её состава в процессе водоподготовки и заканчивая влиянием на неё транспортировки по распределительной сети. С расширением городов и увеличением сети городской инфраструктуры всё большее внимание привлекает конечный этап, связанный с ухудшением качества питьевой воды, подвергающейся дальней транспортировке через накопительные резервуары и насосные станции к потребителям [3, 4].

Централизованные системы водоснабжения представляют собой сложную структуру водопроводов, несущих в себе большие объёмы воды, качество которой зависит от внутреннего покрытия труб. В чугунных и стальных водопроводах особенно распространены бугристые отложения, возникающие в местах сварочных швов, незащищённых инертным покрытием. С течением времени при несоблюдении сроков эксплуатации труб отложения в таких местах увеличиваются и снижается их пропускная способность. Профилактическая промывка сетей не обеспечивает полного удаления отложений, тем самым появление ржавой и мутной воды с неприятным запахом может снижать доверие потребителей к качеству водопроводной воды [5].

Определяющая роль в подаче качественной питьевой воды принадлежит организациям, осуществляющим водозабор в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения. Тем не менее обеспечение населения качественной питьевой водой также является одной из приоритетных государственных задач, исполнение которой контролируется органами и учреждениями Роспотребнадзора. Одним из механизмов такого контроля является система социально-гигиенического мониторинга, включающая в себя программу наблюдения за факторами среды обитания человека, в том числе за питьевой водой. Согласно программе мониторинговых наблюдений, оценивается качество питьевой воды централизованных систем водоснабжения на различных этапах, включая водоисточник, этапы водоподготовки и распределительную сеть. Являясь системой динамического наблюдения, социально-гигиенический мониторинг предоставляет возможность оценить изменение качества воды в процессе транспортировки по распределительной сети статистическими методами, что и будет представлено ниже.

Цель исследования. Оценить динамику состава питьевой воды централизованных систем водоснабжения

в процессе транспортировки на примере Приморского края.

Задачи исследования:

- оценка стабильности концентраций и определение направленности динамических гигиенических показателей качества питьевой воды, проходящей по распределительной сети;
- оценка возможного влияния факторов на качественное изменение состава питьевой воды, проходящей по распределительной сети;
- пространственный анализ доли проб питьевой воды, ухудшающихся в процессе транспортировки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проанализированы результаты отдельных лабораторных испытаний за 2016–2022 гг., выполненных ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае» и его филиалами в рамках социально-гигиенического мониторинга. Группировка контрольных точек отбора проб по ходу движения воды проведена с целью определения миграции показателей в питьевой воде от водозабора или места водоподготовки до водоразборного устройства на распределительной сети.

Для проверки гипотезы значимости различий результатов гигиенических показателей перед подачей в распределительную сеть и на водоразборном устройстве у потребителя выполнена предварительная сортировка и отбор проб, удовлетворяющих следующим условиям:

- качество воды системы централизованного водоснабжения контролируется как минимум на двух этапах: «водоисточник–распределительная сеть», если не проводится дополнительная очистка или обеззараживание, либо «перед подачей–распределительная сеть» (включая воду после очистки, обезжелезивания, обеззараживания);
- перечень контролируемых показателей до поступления в разводящую сеть совпадает с перечнем показателей для воды из распределительной сети;
- отбор проб питьевой воды проводился в один день на обоих этапах.

Таким образом, под критерии отбора подошли 189 мониторинговых точек в распределительной сети, параллельно имеющих данные по одним и тем же показателям перед поступлением воды в разводящую сеть. Анализ проведён по 40 показателям качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения. Среди санитарно-химических показателей представлены обобщённые (рН, нефтепродукты, перманганатная окисляемость, общая жёсткость и общая минерализация), органолептические (запах, мутность, цветность, привкус), хлорорганические вещества (бромдихлорметан, хлороформ, трихлорэтилен, тетрахлорметан) и неорганические химические соединения (алюминий, аммиак, железо, кадмий, кобальт, кремний, магний, марганец, медь,

мышьяк, никель, нитраты, нитриты, ртуть, свинец, сульфаты, фториды, хлориды, цинк). К микробиологическим показателям относятся энтерококки, *E. coli*, колифаги, общие колиформные бактерии (исследуемые по СанПин 2.1.4.1074-01¹ до 01.03.2021), обобщённые колиформные бактерии (исследуемые по СанПин 1.2.3685-21² после 01.03.2021), термотолерантные колиформные бактерии (исследуемые до 01.01.2022), общее микробное число. Первичный анализ попарных значений, выполненный в Microsoft Office Excel, позволил исключить 22 показателя, редко исследуемых в ходе социально-гигиенического мониторинга качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения в точках до поступления в разводящую сеть и точках водоразбора одновременно (общее количество попарных сравнений менее 100).

Оценка типа распределения количественных данных выполнена с помощью критерия Шапиро–Уилка. Значения показателей группируются возле предела чувствительности метода для санитарно-химических и около нуля для микробиологических, поэтому распределения имеют правостороннюю асимметрию, за исключением трихлорэтилена, который отбирается в единственный точке, где он стабильно обнаруживается. В связи с этим значимость различий подтверждалась непараметрическим критерием знаковых рангов Уилкоксона. Описательная статистика приведена в виде абсолютных чисел, относительных частот, медианных значений и процентилей (25-го и 75-го). Корреляционные зависимости между показателями, влияние на показатели дистанции между точками до и после распределительной сети, количество населения под воздействием, характеризующее нагрузку на объект, оценены с применением критерия ранговой корреляции Спирмена. Дистанция между мониторинговыми точками рассчитана исходя из географических координат мест отбора проб воды в соответствии с паспортными данными объектов контроля. Расчётный метод косвенно определяет пройденное водой расстояние, действительная длина водопровода больше. Выделены факторы, предположительно влияющие на характер изменений качественного состава воды распределительной сети. Влияние типа водоразборного устройства, наличия обеззараживания воды и сезона года на изменение показателей оценивали с помощью критерия хи-квадрат. За критический уровень статистической значимости принимали $p < 0,05$. Статистическая обработка полученных результатов проведена с применением пакета программ SPSS Statistics (версия 27).

Выявлены и наглядно визуализированы территории Приморского края по относительным показателям (доля

в % $\pm$ ошибка репрезентативности) негативной динамики. Для пространственного анализа использовали геоинформационную систему ESRI ArcGIS версия 10.8. Созданы векторные карты муниципальных образований, в границы которых нанесены мониторинговые точки по их географическим координатам.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Качественно оценить динамику возможно по 18 показателям (19 485 попарных сравнений), которые представлены в виде структурных данных по количеству отрицательных, положительных расхождений и их отсутствию (табл. 1). Динамика значений показателей отсутствовала при попарных сравнениях проб, в которых показатели определялись на границе чувствительности методик для химических показателей и нулевых значений — для микробиологических. Отсутствие динамики выявлено у 58,2% попарных сравнений.

Единственный показатель, не проявивший различий ни в сторону положительных, ни в сторону отрицательных значений, — колифаги. Непараметрический двусторонний критерий Уилкоксона для зависимых выборок показал значимые различия для таких показателей, как алюминий ($p=0,002$), цветность ($p=0,005$), запах ($p < 0,001$), водородный показатель ($p=0,004$), термотолерантные колиформные бактерии ($p=0,032$), общие колиформные бактерии ($p=0,01$). Перевес в сторону положительных расхождений выявлен для большинства показателей (10 из 18), в том числе для энтерококков, *E. coli*, обобщённых колиформных бактерий, общего микробного числа, перманганатной окисляемости, мутности, привкуса, цветности, железа, марганца. Из данных показателей только расхождения по цветности подтверждены статистически. Перевес по количеству проб, в которых наблюдается уменьшение значений показателя, проявляют оставшиеся индикаторы (7 из 18), в том числе общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, водородный показатель, запах, алюминий, тетрахлорметан и хлороформ. Большинство из них статистически значимо снижаются в процессе транспортировки воды по трубам централизованного водоснабжения.

Среди микробиологических показателей только исключённые в настоящий момент из программы санитарно-бактериологического контроля воды общие и термотолерантные колиформные бактерии показали значимое уменьшение значений при транспортировке воды. Для колифагов отмечено равное количество положительных и отрицательных различий. Новые микробиологические показатели (энтерококки, *E. coli*, обобщённые колиформные бактерии), исследуемые в воде централизованного водоснабжения с внедрением нового СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», чаще обнаруживаются

¹ СанПин 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.

² СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021.

Таблица 1. Разность концентраций показателей качества воды между распределительной сетью и перед подачей в сеть с оценкой различий по критерию знаковых рангов Уилкоксона

Table 1. The difference in concentrations of water quality indicators between the distribution system and before entering the system with an assessment of differences using the Wilcoxon signed-rank test

Показатель Indicator	Отрицательные расхождения Negative difference	Нет динамики No dynamics	Положительные расхождения Positive difference	p
Тетрахлорметан, мг/л Carbon tetrachloride, mg/l	n=4 -0,0005 [-0,0006; -0,0004]	n=565	n=0	0,068
Хлороформ, мг/л Chloroform, mg/l	n=244 -0,0035 [-0,0127; 0,001]	n=156	n=225 0,0022 [0,0006; 0,0074]	0,057
Марганец, мг/л Manganese, mg/l	n=39 -0,01 [-0,0245; -0,0055]	n=24	n=44 0,01 [0,00475; 0,029]	0,785
Алюминий, мг/л Aluminum, mg/l	n=26 -0,04 [-0,0675; -0,02]	n=148	n=9 0,02 [0,01; 0,04]	0,002*
Железо общее, мг/л Total iron, mg/l	n=497 -0,09 [-0,24; -0,04]	n=554	n=564 0,07 [0,03; 0,2]	0,556
Привкус, балл Taste, points	n=4 -1,5 [-1,75; -1,25]	n=96	n=5 0,75 [0,5; 1,0]	0,471
Запах, балл Smell, points	n=59 -2 [-2; -2]	n=1381	n=26 1,5 [1,25; 1,75]	<0,001*
Мутность, мг/л Turbidity, mg/l	n=597 -0,345 [-0,97; -0,12]	n=751	n=621 0,4 [0,11; 1,02]	0,38
Цветность, град. Color, degrees	n=581 -1,5 [-4; -0,8]	n=708	n=722 1,4 [0,7; 3,4]	0,005*
Окисляемость, мг/л Oxidability, mg/l	n=400 -0,24 [-0,5; -0,117]	n=62	n=445 0,22 [0,1; 0,5]	0,346
pH, ед. pH pH, pH units	n=678 -0,2 [-0,4; -0,1]	n=325	n=636 0,1 [0,1; 0,3]	0,004*
ОКБ искл., КОЕ/мл Total coliform bacteria (TCB obsolete), CFU/ml	n=143 -18 [-39; -8]	n=588	n=118 13 [3; 31]	0,01*
<i>E. coli</i> , КОЕ/мл <i>E. coli</i> , CFU/ml	n=38 -9 [-24; -5]	n=830	n=41 10 [4; 40]	0,522
Энтерококки, КОЕ/мл Enterococci, CFU/ml	n=18 -3 [-4; -2]	n=889	n=21 7 [4; 11]	0,131
Колифаги, КОЕ/мл Coliphages, CFU/ml	n=8 -9,65 [-12,9; -6,43]	n=1063	n=8 5 [3,1; 7,2]	0,64
ТКБ, КОЕ/мл Thermotolerant coliform bacteria, CFU/ml	n=128 -22,5 [-45; -10]	n=975	n=116 14 [4; 33]	0,032*
ОКБ, КОЕ/мл Generalized coliform bacteria, CFU/ml	n=93 -7 [-15; -4]	n=1074	n=109 10 [3; 26]	0,129
ОМЧ, КОЕ/мл Total Microbial Count, CFU/ml	n=391 -3 [-9; -1]	n=1158	n=480 2 [1; 5]	0,311

* Значения представлены как медиана и межквартильный размах показателей — Ме [25-й процентиль; 75-й процентиль]; ОКБ искл. — общие колиформные бактерии; ТКБ — термотолерантные колиформные бактерии; ОКБ — обобщённые колиформные бактерии; ОМЧ — общее микробное число.
* Values are presented as median and interquartile range of indicators — Me [25th percentile; 75th percentile].

после прохождения по распределительной сети при сопоставлении с результатами исследований до подачи, но данные различия статистически не значимы.

Химические соединения, играющие роль в очистке и обеззараживании воды, показывают снижение значений концентрации чаще, но только по алюминию динамика статистически значима. Установлено, что в водопроводной сети концентрации железа и марганца выше, чем перед подачей в сеть, однако выявленные различия не являются статистически значимыми по непараметрическому критерию знаковых рангов Уилкоксона ($p > 0,05$).

К обобщённым показателям, по которым возможно оценить динамику, относят водородный показатель и перманганатную окисляемость. Эти показатели наименее стабильные из всех (см. табл. 1). Водородный показатель при транспортировке воды значимо снижается в область кислой среды, что может говорить о качественном изменении состава питьевой воды. Рост перманганатной окисляемости говорит о высокой концентрации органических соединений на этапе водоразбора в сравнении с этапом до поступления в сеть.

В целом при оценке органолептических показателей положительные расхождения отмечены для всех, кроме

Таблица 2. Количество попарных сравнений проб, увеличивающих (↑) и уменьшающих (↓) значения pH после транспортировки воды по распределительной сети, по сезонам

Table 2. Number of pairwise comparisons of samples increasing (↑) and decreasing (↓) pH values after water transportation through the distribution network by season

Сезон Season	↓ pH	↑ pH
Весна Spring	162	162
Зима Winter	134	151
Лето Summer	216	144
Осень Autumn	166	179

Таблица 3. Количество попарных сравнений проб, увеличивающих (↑) и уменьшающих (↓) значения показателей после транспортировки воды по распределительной сети, по типу водоразборного устройства

Table 3. Number of pairwise comparisons of samples increasing (↑) and decreasing (↓) values after water transportation through the distribution network by type of water intake device

Показатель Indicator	Динамика Dynamics	Колонка Standpipe	Кран Tap	χ^2 (p-значение) χ^2 (p-value)
Железо общее Total iron	↓	202	295	5,05 ($p=0,024$)
	↑	268	296	
Обобщённые колиформные бактерии Generalized coliform bacteria	↓	20	73	11,4 ($p=0,001$)
	↑	48	61	
Общие колиформные бактерии (искл.) Total coliform bacteria (obsolete)	↓	49	94	12,3 ($p < 0,001$)
	↑	66	52	
Термотолерантные колиформные бактерии Thermotolerant coliform bacteria	↓	36	92	18,4 ($p < 0,001$)
	↑	64	52	

запаха, значимо чаще снижающего значения при транспортировке воды. Так как органолептические показатели косвенно указывают на наличие в воде химических веществ, прослежены их корреляционные связи. Связь между изменением значений мутности и содержанием железа средней силы ($r=0,46$; $p < 0,01$), мутности и содержанием алюминия — слабой силы ($r=0,16$; $p=0,03$). Цветность слабо, но значимо коррелирует с железом, марганцем и перманганатной окисляемостью (соответственно $r=0,28$; $r=0,21$; $r=0,13$ при $p < 0,05$).

Направленность динамики статистически значимо различается по водородному показателю в зависимости от сезона ($\chi^2=14,5$; $p=0,002$) в летний период, когда закисление воды более выражено (табл. 2). Остальные 17 показателей, перечисленных в табл. 1, не дали значимых различий по сезонам. Оценка типа водоразборного устройства выявила их влияние на динамику концентрации железа ($p=0,02$), обобщённых колиформных бактерий ($p=0,001$), общих колиформных бактерий ($p < 0,001$), термотолерантных колиформных бактерий ($p < 0,001$), накопления в системе колонок, в то время как для крана зданий характерно уменьшение концентраций данных показателей (табл. 3). В системе водопроводов, где используют методы обеззараживания (табл. 4), чаще увеличиваются концентрация железа ($p=0,018$) и цветность ($p=0,006$), слабая корреляция между которыми отмечена выше.

Анализ влияния дальности транспортировки питьевой воды по системам централизованного водоснабжения и населения под воздействием, которое косвенно характеризует объёмы воды, проходящей через распределительную сеть, не дал значимых корреляций с гигиеническими показателями. Данный результат говорит о необходимости учёта влияния на состав питьевой воды при её транспортировке таких факторов, как длина, материал водопровода и доля превышения проектной мощности водопровода.

Таблица 4. Количество попарных сравнений проб, увеличивающих (↑) и уменьшающих (↓) значения показателей после транспортировки воды по распределительной сети, по наличию обеззараживания

Table 4. Number of pairwise comparisons of samples increasing (↑) and decreasing (↓) values after water transportation through the distribution network by the presence of disinfection

Показатель Indicator	Динамика Dynamics	Обеззараживается Disinfected	Не обеззараживается Not disinfected	χ^2 (p-значение) χ^2 (p-value)
Цветность Color	↓	412	169	7,5 (p=0,006)
	↑	560	162	
Железо общее Total iron	↓	313	184	5,6 (p=0,018)
	↑	394	170	

Удельный вес проб с негативной динамикой по энтерококкам варьировал по территориям края от 0 до 11%. Максимальный процент по положительным расхождениям в отношении *E. coli* с учётом ошибки репрезентативности равен 18±5%, по обобщённым колиформным бактериям — 29±5%, по мутности — 93±7%.

Максимальная доля проб, в которых наблюдается ухудшение микробиологических показателей в сравнении с качеством воды до распределительной сети на территории Приморского края, равна 75±13%. В среднем по районам не обнаружено ухудшений более чем в 25% проб. В северных районах края на больших территориях

проживает меньшая часть населения, соответственно, небольшое количество точек репрезентирует весь район (рис. 1).

Ранжирование районов по динамике органолептических показателей выражено сильнее в сравнении с динамикой микробиологических показателей (рис. 2). Максимальная доля проб, в которых наблюдается ухудшение органолептических показателей в сравнении с качеством воды до распределительной сети, зафиксирована на водопроводе от поверхностного источника и равняется 64,3±7,4%, что ассоциируется с ухудшением по содержанию железа. Сопоставив органолептические

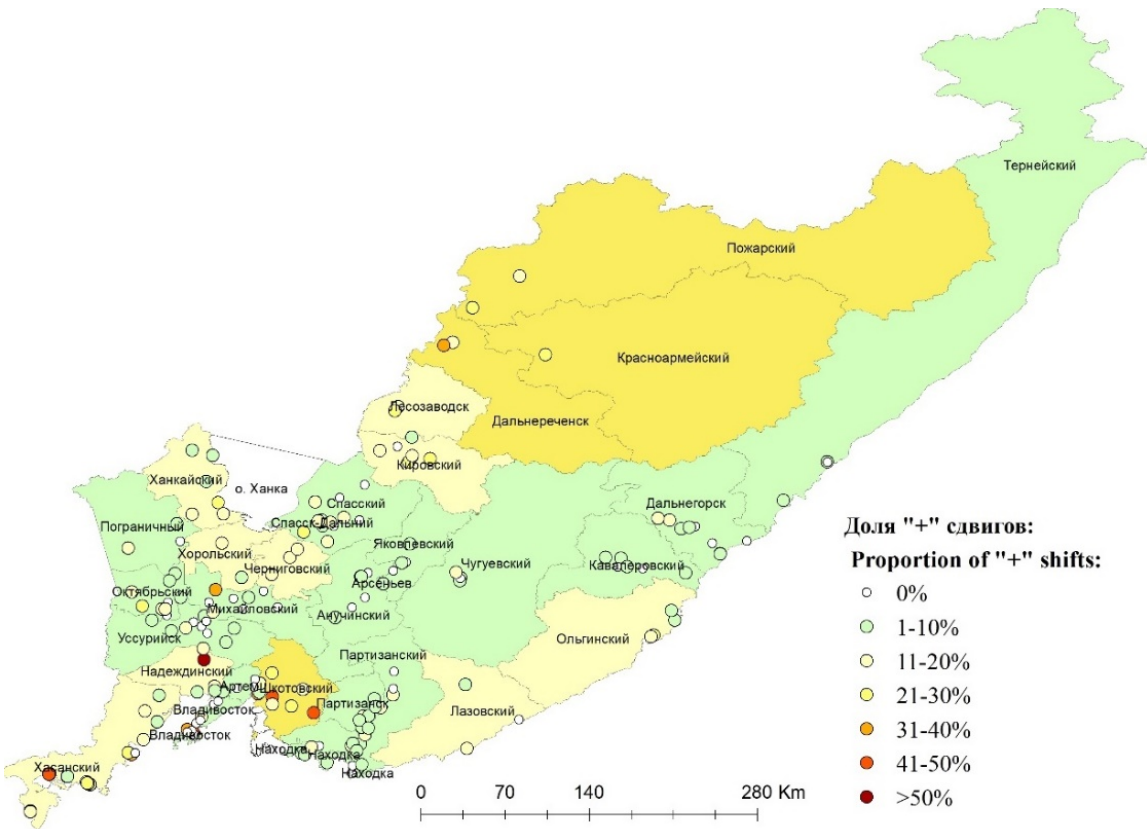


Рис. 1. Доля проб, в которых наблюдается ухудшение микробиологических показателей в сравнении с качеством воды до распределительной сети на территории Приморского края.

Fig. 1. Proportion of samples with deterioration in microbiological parameters in comparison with the quality of water before the distribution system in the Primorsky Territory.

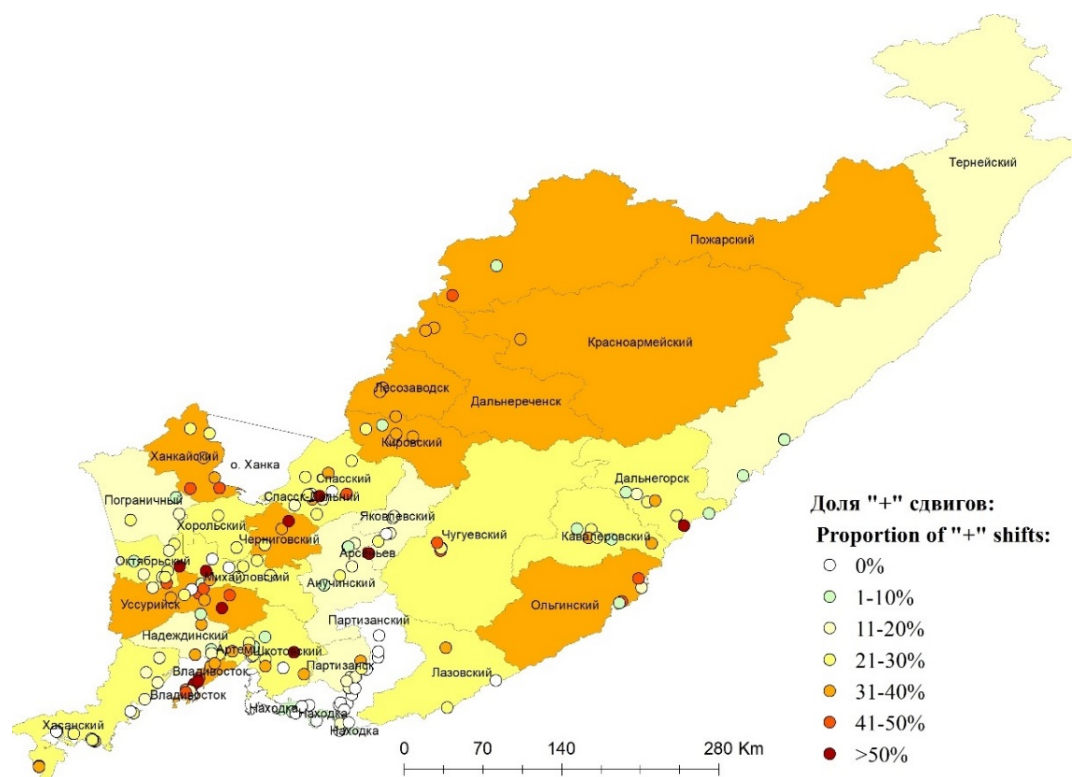


Рис. 2. Доля проб, в которых наблюдается ухудшение органолептических показателей в сравнении с качеством воды до распределительной сети на территории Приморского края.

Fig. 2. The proportion of samples with deterioration of organoleptic characteristics in comparison with the quality of water before the distribution system in the Primorsky Territory.

и микробиологические показатели (см. рис. 1, 2), выделяют северные территории, максимально удалённые от краевого центра, в которых выявлена максимальная доля ухудшения показателей.

Отсутствуют ухудшения органолептических показателей в водопроводах муниципальных образований от подземных источников. В водопроводах, использующих методы обеззараживания, чаще определяется увеличение значений органолептических показателей в сравнении с микробиологическими.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённая оценка выявила показатели, отличающиеся динамичностью концентраций в процессе транспортировки воды за счёт процессов, происходящих в водоводах наружных и внутренних сетей. Благодаря введённой с 2021 г. системе объединённых между собой по ходу движения воды контрольных точек отбора проб для организации мониторинга обеспечения населения качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения³ удалось отследить миграцию санитарно-химических и микробиологических показателей. До её

внедрения отслеживать динамику в объёме всего региона не представлялось возможным, так как мониторинг охватывал источники и точки водоподготовки только в рамках программы формирования регионального информационного фонда на некоторых территориях Приморского края. Данное исследование представляет собой объединение этих двух периодов и будет продолжено для подтверждения результатов, а также возможного выявления новых загрязнителей, влияющих на изменение качества воды в процессе её транспортировки. Так, в настоящее время в научной среде обсуждаются другие загрязнители, которые способны выделяться из стареющих пластиковых водопроводных труб: поливинилхлорид [6], полиэтилен [7] и полипропилен [8] в условиях хлорирования водопроводной воды, высокого содержания тяжёлых металлов, наличия биоплёнок в местах неровностей трубных окалинов. А.А. Хасанова и соавт. предложили определение новых химических веществ для контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения (1,1,2,2-тетрахлорэтана и лилиала), наличие которых, вероятно, обусловлено процессами водоподготовки и транспортировки воды по водопроводной сети [9].

Состояние системы водоснабжения напрямую влияет на вторичное загрязнение воды соединениями железа из-за коррозии труб [10]. Выявленное увеличение органолептических показателей, в особенности цветности воды, косвенно подтверждает наличие биоплёнок железобактерий,

³ МР 2.1.4.0176-20. Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Организация мониторинга обеспечения населения качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения.

рыхлых отложений солей железа и минеральных частиц [11]. Отмечено, что в тёплое время года ускоряются процессы коррозии и образование отложений [12]. Дальность транспортировки питьевой воды является потенциальным фактором увеличения микробиологической нагрузки [13, 14]. Отсутствие в данном исследовании связи между дистанцией и показателями качества водопроводной воды говорит о необходимости комплексного подхода к факторам, включающим учёт материала труб и степень изношенности водопроводной системы, а также количество аварийных ситуаций в водопроводах мониторинговых точек [15].

Микробиологические показатели, используемые для контроля качества воды, в первую очередь отражают присутствие фекального загрязнения и/или нарушение режима обеззараживания питьевой воды на этапе водоподготовки. Исключённый показатель «общие колиформные бактерии» отличает от используемого в настоящее время показателя «обобщённые колиформные бактерии» то, что они не охватывают весь перечень патогенных и условно-патогенных бактерий, имеющих принципиальное значение в случаях острых кишечных инфекций [16]. Выявленные противоположные тенденции для обоих показателей (исключённые «общие колиформные бактерии» значимо в сторону уменьшения, а актуальные «обобщённые колиформные бактерии» незначимо в сторону увеличения) не позволяют однозначно оценить надёжность системы транспортировки воды по распределительной сети в отношении эпидемической опасности. К другой паре микробиологических показателей, сменяющих друг друга во времени, относятся термотолерантные колиформные бактерии и *E. Coli*. Как и в случае с двумя видами колиформных бактерий, в этой паре показателей в данном исследовании выявлена разнонаправленность тенденций при сопоставлении значений до распределительной сети и на этапе водоразбора. Результаты по термотолерантным колиформным бактериям значимо снижаются, а по *E. coli* незначимо увеличиваются. Учитывая тот факт, что *E. coli* является более специфичным индикатором свежего фекального загрязнения по сравнению с термотолерантными колиформными бактериями, можно полагать, что увеличение может быть значимым при накоплении большего объёма выборки, так как именно *E. coli* способны образовывать в водопроводной системе биоплёнки и, соответственно, увеличивать свою концентрацию на этапе водоразбора [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка динамики гигиенических показателей питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки показала следующее:

- цветность питьевой воды имеет склонность к увеличению значений после прохождения через систему водоснабжения, которая слабо, но значимо кор-

релирует с железом, марганцем и перманганатной окисляемостью;

- водородный показатель изменяется в сторону кислой среды, особенно в летний период;
- оценка влияния типа водоразборного устройства выявила тенденцию железа и некоторых микробиологических показателей накапливаться в системе водоразборных колонок, в то время как для крана зданий характерно уменьшение концентраций данных показателей;
- отмечена индикаторная значимость новых микробиологических показателей (обобщённых колиформных бактерий, *E. coli*, энтерококков), они чаще обнаруживаются в распределительной сети, чем исключённые общие и термотолерантные колиформные бактерии;
- пространственный анализ доли проб питьевой воды, ухудшающихся в процессе транспортировки, позволил выделить водопроводы края, где транспортировка является приоритетным фактором ухудшения качества воды;
- ретроспективный анализ динамики состава питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки определил наиболее подверженные изменениям показатели, что может быть использовано при планировании строительства и реконструкции систем водоснабжения и водоподготовки.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарности. Авторский коллектив выражает искреннюю благодарность коллегам ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Приморском крае» за работу по отбору проб воды в мониторинговых точках, кодированию и проведению лабораторных испытаний качества питьевой воды для итогового формирования базы данных федерального и регионального информационных фондов, а также специалистам Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека за грамотную организацию системы мониторинговых наблюдений в Приморском крае.

Вклад авторов. В.Д. Шмелева — концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Л.В. Кислицына — сбор материала и обработка данных, написание и редактирование текста; О.Б. Романова — подготовка проекта рукописи, редактирование текста; М.В. Аленицкая — анализ, интерпретация результатов, редактирование текста; Е.С. Пугачева — частичное написание текста, оформление рисунков и списка литературы. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

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

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления в комитет по биомедицинской этике.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. The authors express sincere gratitude to the colleagues of the Federal State Budgetary Institution “Center for Hygiene and Epidemiology in Primorsky Krai” for their work Water sampling at monitoring points, coding and conducting laboratory tests of drinking water quality for the final formation of a database of federal and regional information funds, as well as specialists of the Federal Service for Supervision of Consumer Protection and Welfare a person for the competent organization of the monitoring observation system in the Primorsky Territory.

Authors' contribution. V.D. Shmeleva — research concept and design, material collection and data processing, statistical

processing, text writing; L.V. Kislitsyna — material collection and data processing, text writing and editing; O.B. Romanova — preparation of the draft manuscript, text editing; M.V. Alenitckaia — analysis, interpretation of results, text editing; E.S. Pugacheva — partial writing of the text, design of drawings and a list of references. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work).

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

Competing interests. The authors declare that there are no obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

Ethical standards. The study does not require submission to the biomedical ethics committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Степанян А.А. Обоснование временных отступлений качества питьевой воды с учётом новых научных данных для оценки риска здоровью населения // Здоровье населения и среда обитания — ЗНиСО. 2024. Т. 32, № 5. С. 23–32. EDN: ROFGHO
doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-23-32
2. Wolf J., Johnston R.B., Ambelu A., et al. Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation, and hygiene in domestic settings: a global analysis for selected adverse health outcomes // *Lancet*. 2023. Vol. 401, N 10393. P. 2060–2071. doi: 10.1016/S0140-6736(23)00458-0
3. Spencer-Williams I., Meyer M., DePas W., et al. Assessing the impacts of lead corrosion control on the microbial ecology and abundance of drinking-water-associated pathogens in a full-scale drinking water distribution system // *Environmental Science & Technology*. 2023. Vol. 57, N 48. P. 20360–20369. doi: 10.1021/acs.est.3c05272
4. Mohammadpour A., Emadi Z., Samaei M.R., et al. The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in drinking water from Shiraz, Iran: a health risk assessment of samples // *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30, N 9. P. 23295–23311. doi: 10.1007/s11356-022-23535-2
5. Потапов С.С., Паршина Н.В., Мязин В.А., и др. Минеральный состав отложений и причины их образования в системе отопления и горячего водоснабжения городов Апатиты и Кировска (Мурманская область) // *Вестник Мурманского государственного технического университета*. 2022. Т. 25, № 2. С. 125–132. EDN: GNSUSG
doi: 10.21443/1560-9278-2022-25-2-125-132
6. Ye X., Wang P., Wu Y., et al. Microplastic acts as a vector for contaminants: the release behavior of dibutyl phthalate from polyvinyl chloride pipe fragments in water phase // *Environ Sci Pollut Res*. 2020. Vol. 27, N 33. P. 42082–42091. doi: 10.1007/s11356-020-10136-0
7. Khan I.A., Lee K.H., Lee Y.S., Kim J.O. Degradation analysis of polymeric pipe materials used for water supply systems under various disinfectant conditions // *Chemosphere*. 2022. Vol. 291, Pt 1. P. 132669. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132669
8. Yang X., Xu X., Zhou Y., et al. Longitudinal and vertical distribution of microplastics in various pipe scales in an operating drinking water distribution system // *J Hazard Mater*. 2023. Vol. 459. P. 132108. doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.132108
9. Хасанова А.А., Четверкина К.В., Маркович Н.И. Определение приоритетных химических веществ для контроля безопасности воды централизованных сетей водоснабжения // *Гигиена и санитария*. 2021. Т. 100, № 5. С. 428–435. EDN: QNTDAM
doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435
10. Москвичева А.В., Федулова Е.В., Гильгенберг А.Ю., и др. Разработка мероприятий по снижению коррозии оборудования водохозяйственного комплекса // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2021. № 4. С. 36–40. EDN: YZQIBC
doi: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-36-40
11. Papciak D., Domoń A., Zdeb M., et al. Mechanism of biofilm formation on installation materials and its impact on the quality of tap water // *Water*. 2022. Vol. 15, N 14. P. 2401. doi: 10.3390/w14152401
12. Taghavi M., Mohammadi M.H., Radfard M., et al. Assessment of scaling and corrosion potential of drinking water resources of Iranshahr // *MethodsX*. 2019. Vol. 6. P. 278–283. doi: 10.1016/j.mex.2019.02.002
13. Bian K., Wang C., Jia S., et al. Spatial dynamics of bacterial community in chlorinated drinking water distribution systems supplied with two treatment plants: An integral study of free-living and particle-associated bacteria // *Environ Int*. 2021. Vol. 154. P. 106552. doi: 10.1016/j.envint.2021.106552
14. Han Z., An W., Yang M., Zhang Y. Assessing the impact of source water on tap water bacterial communities in 46 drinking water supply systems in China // *Water Res*. 2020. Vol. 172. P. 115469. doi: 10.1016/j.watres.2020.115469
15. Calero Preciado C., Husband S., Boxall J., et al. Intermittent water supply impacts on distribution system biofilms and water quality // *Water Res*. 2021. Vol. 201. P. 117372. doi: 10.1016/j.watres.2021.117372

16. Загайнова А.В., Трухина Г.М., Рахманин Ю.А. Обоснование введения индикаторных показателей «Обобщённые колиформные бактерии» и «*Escherichia coli*» в систему санитарно-эпидемиологического контроля безопасности питьевой воды // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99, № 12. С. 1353–1359. EDN: HWXNYA doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1353-1359

17. Siedlecka A., Wolf-Baca M., Piekarska K. Microbial communities of biofilms developed in a chlorinated drinking water distribution system: A field study of antibiotic resistance and biodiversity // *Sci Total Environ*. 2021. Vol. 774. P. 145113. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145113

REFERENCES

1. Isaev DS, Mozhukhina NA, Stepanyan AA. Justification of temporary deviations in drinking water quality given new scientific data for health risk assessment. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2024;32(5):23–32. EDN: ROFGHO doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-23-32
2. Wolf J, Johnston RB, Ambelu A, et al. Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation, and hygiene in domestic settings: a global analysis for selected adverse health outcomes. *Lancet*. 2023;401(10393):2060–2071. doi: 10.1016/S0140-6736(23)00458-0
3. Spencer-Williams I, Meyer M, DePas W, et al. Assessing the impacts of lead corrosion control on the microbial ecology and abundance of drinking-water-associated pathogens in a full-scale drinking water distribution system. *Environmental Science & Technology*. 2023;57(48):20360–20369. doi: 10.1021/acs.est.3c05272
4. Mohammadpour A, Emadi Z, Samaei MR, et al. The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in drinking water from Shiraz, Iran: a health risk assessment of samples. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(9):23295–23311. doi: 10.1007/s11356-022-23535-2
5. Potapov SS, Parshina NV, Myazin VA, et al. The mineral composition of sediments and the reasons for their formation in the heating and hot water supply systems of the towns of Apatity and Kirovsk (the Murmansk Region). *Vestnik of MSTU*. 2022;25(2):125–132. EDN: GNSUSG doi: 10.21443/1560-9278-2022-25-2-125-132
6. Ye X, Wang P, Wu Y, et al. Microplastic acts as a vector for contaminants: the release behavior of dibutyl phthalate from polyvinyl chloride pipe fragments in water phase. *Environ Sci Pollut Res*. 2020;27(33):42082–42091. doi: 10.1007/s11356-020-10136-0
7. Khan IA, Lee KH, Lee YS, Kim JO. Degradation analysis of polymeric pipe materials used for water supply systems under various disinfectant conditions. *Chemosphere*. 2022;291 (Pt 1):132669. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132669
8. Yang X, Xu X, Zhou Y, et al. Longitudinal and vertical distribution of microplastics in various pipe scales in an operating drinking water distribution system. *J Hazard Mater*. 2023;459:132108. doi: 10.1016/j.jhazmat.2023.132108
9. Khasanova AA, Chetverkina KV, Markovich NI. Determination of priority chemicals of water from centralized supply systems for monitoring water safety. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(5):428–435. EDN: QNTDAM doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-5-428-435
10. Moskvicheva AV, Fedulova EV, Gilgenberg AY, et al. Development of measures to reduce corrosion of water management equipment. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2021;(4):36–40. EDN: YZQIBC doi: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-36-40
11. Papciak D, Domoń A, Zdeb M, et al. Mechanism of biofilm formation on installation materials and its impact on the quality of tap water. *Water*. 2022;14(15):2401. doi: 10.3390/w14152401
12. Taghavi M, Mohammadi MH, Radfard M, et al. Assessment of scaling and corrosion potential of drinking water resources of Iranshahr. *MethodsX*. 2019;6:278–283. doi: 10.1016/j.mex.2019.02.002
13. Bian K, Wang C, Jia S, et al. Spatial dynamics of bacterial community in chlorinated drinking water distribution systems supplied with two treatment plants: An integral study of free-living and particle-associated bacteria. *Environ Int*. 2021;154:106552. doi: 10.1016/j.envint.2021.106552
14. Han Z, An W, Yang M, Zhang Y. Assessing the impact of source water on tap water bacterial communities in 46 drinking water supply systems in China. *Water Res*. 2020;172:115469. doi: 10.1016/j.watres.2020.115469
15. Calero Preciado C, Husband S, Boxall J, et al. Intermittent water supply impacts on distribution system biofilms and water quality. *Water Res*. 2021;201:117372. doi: 10.1016/j.watres.2021.117372
16. Zagaynova AV, Trukhina GM, Rakhmanin YuA, et al. The rationale for introducing the indices «Generalized coliform bacteria» and «*Escherichia coli*» into the scheme of sanitary and microbiological control of water quality as indices of fecal contamination. *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(12):1353–1359. EDN: HWXNYA doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-12-1353-1359
17. Siedlecka A, Wolf-Baca M, Piekarska K. Microbial communities of biofilms developed in a chlorinated drinking water distribution system: A field study of antibiotic resistance and biodiversity. *Sci Total Environ*. 2021;774:145113. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145113

ОБ АВТОРАХ

***Шмелева Валерия Дмитриевна;**

адрес: Россия, 690922, Владивосток, о-в Русский, пос. Аякс, кампус ДВФУ, корп. 25;
ORCID: 0000-0002-5580-5442;
eLibrary SPIN: 9744-7639;
e-mail: ha-lera@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Valeria D. Shmeleva;**

address: FEPU campus, build. 25, village Ajax, Russian Island, Vladivostok, Russia, 690922;
ORCID: 0000-0002-5580-5442;
eLibrary SPIN: 9744-7639;
e-mail: ha-lera@mail.ru

Кислицына Лидия Владимировна;

ORCID: 0000-0002-4172-609X;

eLibrary SPIN: 4906-4348;

e-mail: sgm@fguzp.ru

Романова Ольга Борисовна;

ORCID: 0009-0006-3852-1014;

eLibrary SPIN: 8473-8686;

e-mail: romanovaob@fguzpk.ru

Аленицкая Марина Владимировна, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-5191-4713;

eLibrary SPIN: 1588-8371;

e-mail: trial766@mail.ru

Пугачева Ева Сергеевна, аспирант;

ORCID: 0009-0006-8586-6437;

eLibrary SPIN: 7583-2220;

e-mail: pugachova.eva@mail.ru

Lidiya V. Kislitsyna;

ORCID: 0000-0002-4172-609X;

eLibrary SPIN: 4906-4348;

e-mail: sgm@fguzpk.ru

Olga B. Romanova;

ORCID: 0009-0006-3852-1014;

eLibrary SPIN: 8473-8686;

e-mail: romanovaob@fguzpk.ru

Marina V. Alenitckaia, MD, Dr. Sci (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0002-5191-4713;

eLibrary SPIN: 1588-8371;

e-mail: trial766@mail.ru

Eva S. Pugacheva, Graduate student;

ORCID: 0009-0006-8586-6437;

eLibrary SPIN: 7583-2220;

e-mail: pugachova.eva@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630381>

Общий и интегральный анализ кардиоэффектов на острую гипоксию до и после интервальных гипоксических тренировок у человека на Севере России

М.И. Бочаров, А.С. Шилов

Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Одна из частных и мало изученных проблем экологической физиологии и медицины человека на Севере заключается в изучении функционирования сердца при развивающейся гипоксемии в холодный период года. Это и послужило предметом исследования.

Цель. Изучить характер изменений биоэлектрических процессов сердца, интегральную типологию реакций на острую гипоксию до и после интервальных нормобарических гипоксических тренировок у здорового человека в зимний период года на Севере России.

Материалы и методы. В исследование включены 29 мужчин (средний возраст $20,2 \pm 0,31$ года), которых подвергали острой гипоксии ($12,3\% O_2$) в течение 20 мин с регистрацией оксигенации крови ($SpO_2\%$), трёх амплитудных и временных параметров ЭКГ в контроле и в период 1, 7 и 16 дней после курса интервальных нормобарических гипоксических тренировок. Определяли интегральные значения хроноинотропных эффектов сердца.

Результаты. В контроле при острой гипоксии прирастали P_{1II} ($p=0,005$) и $P-Q$ ($p=0,006$), уменьшались R_{II} , T_{1II} , $R-R$ и $Q-T$ ($p < 0,001$). По сравнению с контролем после интервальных нормобарических гипоксических тренировок при острой гипоксии отклонение T_{1II} уменьшается с 1-го ($p=0,030$) по 16-ый день ($p < 0,001$), а P_{1II} ($p=0,020$) — на 16-й день. Всегда отклонения T_{1II} и $Q-T$ коррелируют с таковым $SpO_2\%$. Во всех случаях с острой гипоксией частота эпизодов мезореактивных ответов составляет 42,5–47,1%, гиперреактивных — 24,1–29,9%, гипореактивных — 27,6–28,7%. Интегральные значения полярных хроноинотропных реакций на острую гипоксию с 7-го дня после интервальных нормобарических гипоксических тренировок увеличиваются по сравнению с контрольными значениями.

Заключение. Гипоксическая тренировка нивелирует изменения биоэлектрической активности правого предсердия при острой гипоксии и ослабляет торможение активности желудочков миокарда в фазе быстрой конечной реполяризации. Повышается зависимость систолы желудочков сердца от развивающейся гипоксемии. Количественные соотношения полярно отличающихся хроноинотропных эффектов не изменяются, но увеличиваются их интегральные средние значения.

Ключевые слова: человек на Севере; гипоксия; электрокардиограмма; оксигенация.

Как цитировать:

Бочаров М.И., Шилов А.С. Общий и интегральный анализ кардиоэффектов на острую гипоксию до и после интервальных гипоксических тренировок у человека на Севере России // Экология человека. 2024. Т. 31, № 5. С. 393–402. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630381>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630381>

General and integral analysis of cardiac effects under acute hypoxia before and after intermittent hypoxic training in humans in Northern Russia

Mikhail I. Bocharov, Alexander S. Shilov

Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: One of the specific and underexplored issues in human ecological physiology and medicine in the North is cardiac function during hypoxemia in the cold season. This formed the basis of the current study.

AIM: To examine the changes in the bioelectrical activity of the heart and the integral typology of responses to acute hypoxia before and after interval normobaric hypoxic training in healthy individuals during the winter season in Northern Russia.

MATERIALS AND METHODS: The study included 29 men (mean age 20.2 ± 0.31 years) exposed to acute hypoxia (12.3% O_2) for 20 minutes. Blood oxygenation ($SpO_2\%$) and three amplitude and temporal ECG parameters were recorded at baseline and on Days 1, 7, and 16 following intermittent normobaric hypoxic training. Integral values of the heart's chronotropic and inotropic responses were determined.

RESULTS: At baseline, during acute hypoxia, P_{1II} ($p=0.005$) and $P-Q$ ($p=0.006$) increased, while R_{II} , T_{1II} , $R-R$, and $Q-T$ ($p<0.001$) decreased. Following intermittent normobaric hypoxic training, the deviation in T_{1II} during acute hypoxia reduced from Day 1 ($p=0.030$) to Day 16 ($p<0.001$), and P_{1II} decreased by Day 16 ($p=0.020$). Deviations in T_{1II} and $Q-T$ correlated consistently with those in $SpO_2\%$. During episodes of acute hypoxia, mesoreactive responses were observed in 42.5–47.1% of cases, hyperreactive responses in 24.1–29.9%, and hyporeactive responses in 27.6–28.7%. Integral values of polar chronotropic and inotropic reactions to acute hypoxia increased significantly from Day 7 following intermittent normobaric hypoxic training compared to baseline.

CONCLUSION: Intermittent hypoxic training reduces alterations in the bioelectrical activity of the right atrium during acute hypoxia, and mitigates the suppression of ventricular myocardial activity during the rapid terminal repolarization phase. Ventricular systole becomes increasingly dependent on developing hypoxemia. While the quantitative proportions of polar chronotropic and inotropic responses remain unchanged, their integral mean values increase significantly.

Keywords: humans in the North; hypoxia; electrocardiography; oxygenation.

To cite this article:

Bocharov MI, Shilov AS. General and integral analysis of cardiac effects under acute hypoxia before and after intermittent hypoxic training in humans in Northern Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):393–402. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630381>

Received: 16.04.2024

Accepted: 21.11.2024

Published online: 08.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630381>

北极俄罗斯地区急性缺氧前后间歇性低氧训练对心脏效应的总体与综合分析

Mikhail I. Bocharov, Alexander S. Shilov

Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

摘要

背景。北极地区环境生理学与医学的一项独特且研究较少的问题是，在寒冷季节发展性低氧血症条件下心脏功能的研究。这正是本研究的主题。

研究目的。研究北极俄罗斯地区冬季健康人群在急性缺氧前后，心脏生物电过程的变化特征，以及间歇性常压低氧训练对急性缺氧反应的整体类型影响。

材料与方法。本研究纳入29名男性（平均年龄 20.2 ± 0.31 岁），对其进行急性缺氧测试（ $12.3\% \text{ O}_2$ ，持续20分钟），记录血氧饱和度（ $\text{SpO}_2\%$ ），以及3个ECG振幅和时间参数的变化。这些参数在测试前和间歇性常压低氧训练后的第1天、第7天和第16天进行监测，同时确定心脏时-肌动力效应的综合值。

结果。在对照组急性缺氧条件下， $P_1\text{II}$ （ $p=0.005$ ）和 $P-Q$ （ $p=0.006$ ）增加，而 RII 、 T_1II 、 R-R 和 Q-T 显著减少（ $p<0.001$ ）。与对照组相比，间歇性常压低氧训练后急性缺氧条件下的 T_1II 偏差从第1天（ $p=0.030$ ）到第16天（ $p<0.001$ ）显著降低，而 $P_1\text{II}$ 在第16天显著下降（ $p=0.020$ ）。 T_1II 和 Q-T 的变化始终与 $\text{SpO}_2\%$ 的变化相关。在所有急性缺氧测试中，中等反应的发生率为 $42.5 - 47.1\%$ ，高反应率为 $24.1 - 29.9\%$ ，低反应率为 $27.6 - 28.7\%$ 。从第7天起，急性缺氧诱导的心脏极性时-肌动力反应的综合均值显著高于对照值。

结论。低氧训练能够减弱急性缺氧时右心房生物电活动的变化，并减轻快速终末复极化阶段中心室肌活动的抑制。同时，心室收缩对缺氧发展的依赖性增强。尽管不同极性的时-肌动力效应的比例关系未发生显著变化，但其综合平均值有所增加。

关键词：北极人群；缺氧；心电图；血氧饱和度。

引用本文：

Bocharov MI, Shilov AS. 北极俄罗斯地区急性缺氧前后间歇性低氧训练对心脏效应的总体与综合分析. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):393–402. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630381>

收到: 16.04.2024

接受: 21.11.2024

发布日期: 08.12.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Одним из распространённых экологических факторов, вызывающих развитие гипоксического состояния организма человека, является экзогенная гипоксия, обусловленная пониженным парциальным напряжением кислорода во вдыхаемом воздухе. Сила действия экзогенной гипоксии может определять вовлечение физиологических механизмов адаптации к гипоксии или патологических процессов [1–3]. По своей природе кислородное голодание организма проявляется не только в условиях высокогорной гипобарической гипоксии [4, 5], но и в регионах с холодным климатом [6–8]. Так, закрепилось мнение, что при хроническом действии низких температур окружающей среды могут наблюдаться недостаточность функции внешнего дыхания и дефицит кислорода в организме, получившие в обобщённом виде названия «синдром полярной гипоксии» [9], «хронический гипоксический синдром» [10] или «холодовая гипоксия» [11]. Очевидно, что дополнительным фактором развития гипоксического состояния на Севере России могут являться часто происходящие существенные понижения атмосферного давления, а значит — и парциального давления кислорода, особенно в зимний период года. Об увеличении стрессогенности сочетанного действия холода и гипоксии на организм животных и человека свидетельствуют многие исследования [12–14].

При всей изученности проявлений гипоксических состояний у человека на Севере России многие стороны физиологических процессов ещё требуют решения. В частности, отсутствуют детальные сведения об изменчивости биоэлектрических процессов сердца и их сопряжённости с насыщением крови кислородом, а также комплексная оценка возможных типов хроноинотропных реакций при острой гипоксии (ОГ) в холодное время года и влияние на них в отдалённом периоде интервальных нормобарических гипоксических (ИНГ) тренировок. Решение этих задач позволит расширить общие представления о синдроме полярной гипоксии за счёт выявления закономерностей изменений кардиоэффектов при развивающейся гипоксемии и определить возможные пути ослабления величины реакции сердца на гипоксию.

Цель исследования. Изучить характер изменений биоэлектрических параметров сердца, интегральную типологию реакций на ОГ до и в период после ИНГ тренировок у здорового человека в зимнее время года на Севере России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены с участием физически здоровых молодых (20,2±0,31 года) мужчин ($n=29$) в январе-феврале на Севере России (Сыктывкар) в лабораторных условиях при термонеutralной температуре воздуха (21–23 °C). Порядок исследования: контроль в покое

и при ОГ, 16-дневный курс прекодиционирования гипоксией или ИНГ воздействий, а также 1, 7 и 16-й дни после ИНГ тренировок. Предварительно испытуемые были ознакомлены с процедурой исследования, которая полностью соответствовала этическим медико-биологическим нормам Хельсинкской декларации и локальным актам этической комиссии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (протокол № 2 от 16.04.2024).

Курс ИНГ тренировок проводили на протяжении 16 дней, когда испытуемых ежедневно подвергали прерывистому дыханию газовой смесью ($12,3\pm0,14\%$ O_2). Каждый сеанс включал 5-минутные периоды гипоксической респирации с короткими периодами (от 2 до 1 мин с 11-го дня курса) нормобарической респирации. Следуя тренировочному принципу нарастающей мощности, количество гипоксических респираций в одном сеансе увеличивали: 1-й день — 6 раз, 2-й день — 8, 3–16-й дни — 10. Такие гипоксические воздействия соответствовали втягивающему или профилактическому ($12\text{--}14\%$ O_2) режиму [15] и условиям гипокситерапии [16].

Дыхание обеднённым кислородом воздухом осуществлялось через газодыхательную маску, соединённую с газовым мешком, заполняющимся воздухом с пониженным содержанием O_2 , что обеспечивал модифицированный (свидетельство на полезную модель № 24098 от 27 июля 2002 г.) концентратор «Опук PSA Oxygen Generator» (AirSer Corporation, США). Контроль за содержанием O_2 вдыхаемого воздуха осуществляли анализатором «OxiQuant B» (EnviteC, Германия). С помощью пульсоксиметра «NONIN8500» (NONIN Medical, Inc., США) измеряли насыщение крови кислородом ($SpO_2\%$) и частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин).

При 20-минутной пробе с ОГ (12,3%) испытуемый находился в положении лёжа на кушетке, когда в покое, на 5, 10, 20-й мин ОГ на компьютеризованном комплексе «Кардиометр-МТ» (ТОО «Микард», Санкт-Петербург, Россия) регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ) в трёх стандартных, трёх усиленных и шести грудных отведениях. Анализ подлеляли амплитудные (P_{II} , R_{II} , T_{II} , в мВ) и временные ($R\text{--}R$, $P\text{--}Q$, $Q\text{--}T$, в мс) параметры ЭКГ. При этом из-за значительных колебаний разности их отклонений при гипоксической пробе [17] рассчитывали средние значения (при $n=87$ и $n=42$ только на 16-й день) за три периода измерений. Для интегральной оценки кардиоэффектов все параметры нормировали путём приведения частных отклонений к безразмерному виду (формула $I_i = x_i - M / S^2$, где I_i — индекс; x_i — варианта; M — средняя; S^2 — дисперсия) с изменением полярности отклонений интервалов $R\text{--}R$, $P\text{--}Q$ и $Q\text{--}T$. Затем по шести индексам параметров ЭКГ рассчитывали интегральную величину кардиального эффекта (I_M) за период ОГ по формуле: $I_M = (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6) / 6$, усл. ед. В дальнейшем определяли встречаемость величин I_M в диапазоне $\pm 0,5 SD$, что указывало на количество эпизодов среднего уровня отклонений биоэлектрической активности (БА) сердца

за период (5, 10, 20 мин) действия ОГ (мезореактивные), величины больше 0,5 SD свидетельствовали о доминировании положительного (гиперреактивные), а меньше $-0,5$ SD — отрицательного (гипореактивные) хроноинотропного эффекта. О степени развивающейся гипоксемии судили по уменьшению $SpO_2\%$.

Достаточность размера выборки подтверждена расчётами [18]. Статистическую обработку выполняли с помощью пакета программ Statistica 10.0 (StatSoft, Inc., США). Тестом Колмогорова–Смирнова установлено нормальное распределение наблюдаемых данных. Рассчитывали среднюю арифметическую величину (M), её ошибку (m), разность отклонений (d), доверительный интервал (tm_d) при $p=0,05$, стандартное отклонение (SD), дисперсию (S^2); рассчитывали коэффициент парной корреляции (r). Статистическую значимость различий определяли методом сравнения средних, для зависимых — разности отклонений по t -критерию Стьюдента, при малых выборках — по t -критерию Вилкоксона, а для сравнения дисперсий — по F -критерию Фишера. Значимость отличий принимали при $p < 0,05$. Очень высокие уровни значимости показаны как $p < 0,001$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлено, что в результате курса ИНГ тренировок падение оксигенации крови в ответ на 20-минутную ОГ уменьшалось: если до тренинга показатель SpO_2 понижался на $19,7 \pm 0,97\%$, то в 1-й и 7-й дни после него меньше ($16,4 \pm 1,22\%$, $p=0,011$; $16,10 \pm 0,99\%$, $p=0,002$), а на 16-й день — ещё меньше ($12,8 \pm 1,04\%$, $p=0,001$), чем в контроле. Очевидным является факт нарастания резистентности организма к ОГ, как минимум до 16 дней после курса ИНГ тренировок, о чём свидетельствует уменьшение развития гипоксемии.

В состоянии покоя обнаружено отсутствие статистически значимых отличий ($p > 0,05$) в изменениях амплитудных параметров ЭКГ после ИНГ тренировок, когда в среднем они, по сравнению с контролем, колеблются в следующих пределах: для P_{1I} — от $0,128 \pm 0,008$ до $0,110 \pm 0,009$ мВ, для R_{II} — от $1,428 \pm 0,073$ до $1,409 \pm 0,064$ мВ, для T_{1II} — от $0,357 \pm 0,019$ до $0,391 \pm 0,023$ мВ. При этом в покое только в отдельные периоды после ИНГ тренировок статистически значимо изменялись кардиоинтервалы. Так, относительно контроля в 1-й день после ИНГ тренировок увеличивалась длительность интервала R-R с $862,1 \pm 31,5$ до $943,8 \pm 26,4$ мс ($p=0,029$) и Q-T — с $376,2 \pm 5,5$ до $392,8 \pm 4,1$ мс ($p=0,005$), на 7-й день уменьшался P-Q с $160,7 \pm 4,9$ до $151,7 \pm 3,6$ мс ($p=0,016$), а на 16-й день увеличивался Q-T до $396,4 \pm 82$ мс ($p=0,043$).

В контроле ОГ вызывала статистически значимый прирост амплитуды зубца P_{1II} ($p=0,005$), существенное уменьшение ($p < 0,001$) зубцов R_{II} , T_{1II} , интервалов R-R, Q-T и увеличение длительности интервала P-Q ($p=0,006$) ЭКГ относительно покоя (рис. 1). На последующих этапах исследования общая направленность изменений параметров ЭКГ в ответ на ОГ в большинстве своём сохранялась. Так, амплитуды зубцов R_{II} , T_{1II} и интервалы R-R, P-Q, Q-T в 1-й, 7-й и 16-й дни после курса ИНГ тренировок отклонялись от исходного уровня с высокой статистической значимостью ($p < 0,001$), а зубец P_{1II} в 1-й день прирастал уже с меньшей статистической значимостью ($p=0,017$), в последующем (на 7-й и 16-й дни) его изменения были не существенными ($p > 0,05$).

При сравнении параметров ЭКГ при ОГ по отклонению относительно контроля установлено статистически значимое уменьшение зубца P_{1II} ($p=0,020$) на 16-й день после ИНГ тренировок, а у зубца T_{1II} — чётко выраженное уменьшение отклонения с 1-го ($p=0,030$) по 16-й день

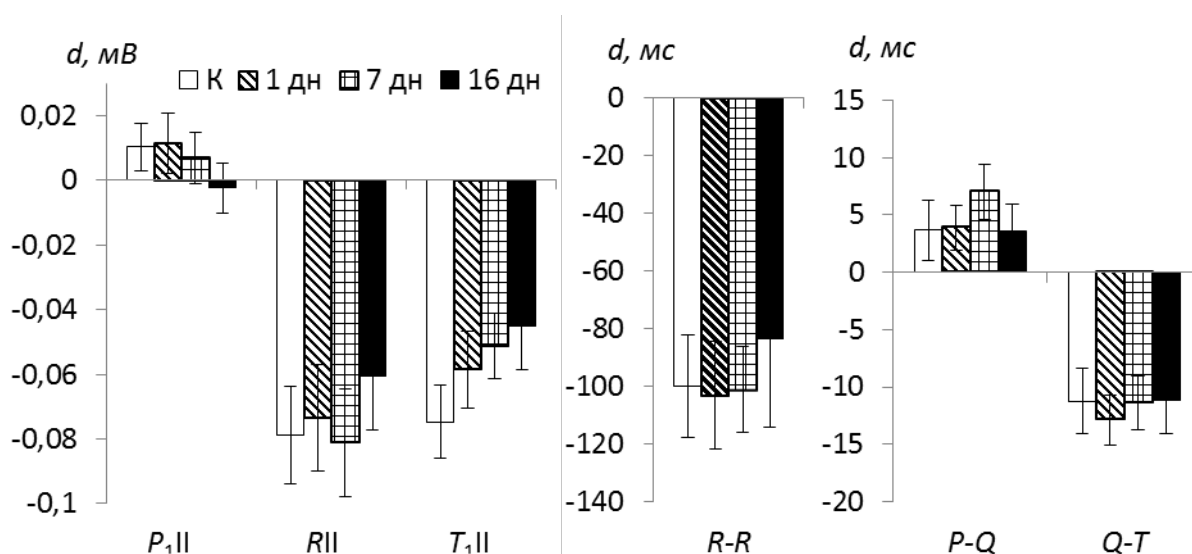


Рис. 1. Отклонения параметров электрокардиограммы относительно исходных при острой гипоксии в контроле (K) и в разные периоды (1-й, 7-й и 16-й дни) после интервальных гипоксических тренировок ($M \pm tm_d$).

Fig. 1. Deviations of the electrocardiogram parameters relative to the initial ones in acute hypoxia in the control (K) and at different periods (1st, 7th and 16th days) after interval hypoxic training ($M \pm tm_d$).

($p < 0,001$) после гипоксического тренинга (см. рис. 1). При этом увеличивался прирост длительности интервала P-Q ($p=0,009$) на 7-й день, а отклонения R-R и Q-T статистически не отличались от контроля ($p > 0,05$).

Определение зависимости отклонений параметров ЭКГ от развивающейся гипоксемии (судя по $SpO_2\%$) показало, что в контроле ($n=87$) статистически значимые корреляции обнаруживались для амплитуды зубца T_{1II} ($r=0,32$, $p=0,003$), интервалов R-R ($r=0,24$, $p=0,027$) и Q-T ($r=0,31$, $p=0,004$). В 1-й день ($n=87$) после ИНГ тренировок

количество таких связей с $SpO_2\%$ увеличивалось: P_{1II} ($r=-0,33$, $p=0,002$), T_{1II} ($r=0,36$, $p=0,001$), R-R ($r=0,43$, $p < 0,001$), P-Q ($r=-0,28$, $p=0,008$), Q-T ($r=0,31$, $p=0,003$); на 7-й день ($n=87$) они ограничивались зубцами RII ($r=0,26$, $p=0,016$), T_{1II} ($r=0,28$, $p=0,008$) и интервалом Q-T ($r=0,22$, $p=0,039$); на 16-й день ($n=42$) статистически значимые корреляции отсутствовали.

Очевидно, что только на первых трёх этапах исследования с ОГ присутствуют значимые связи отклонений параметров ЭКГ с оксигенацией крови. Так, в контроле, в 1-й

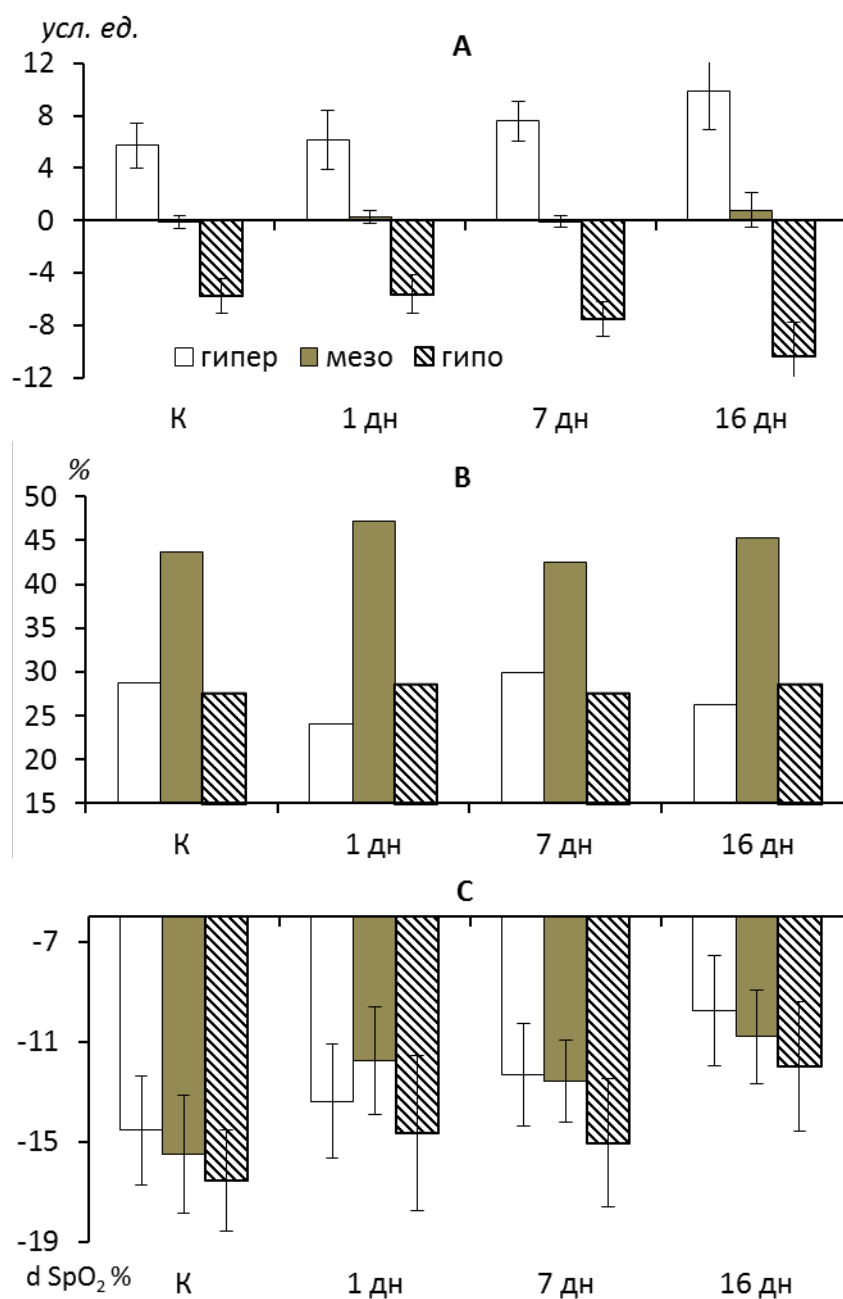


Рис. 2. Интегральные значения хроноинотропных типов реакции (гиперреактивный — гипер, мезореактивный — мезо, гипореактивный — гипо) сердца (А), количественные их значения (В) и отклонения оксигенации крови (С) при острой гипоксии в контроле (К) и в разные периоды (1-й, 7-й и 16-й дни) после интервальных гипоксических тренировок ($M \pm m_d$).

Fig. 2. Integral values of chronoinotropic reaction types (hyperreactive — hyper, mesoreactive — meso, hyporeactive — hypo) of the heart (A), their quantitative values (B) and deviations of blood oxygenation (C) in acute hypoxia in the control (K) and at different periods (1st, 7th and 16th days) after interval hypoxic training ($M \pm m_d$).

и 7-й дни после ИНГ тренировок отклонения амплитуды быстрой конечной фазы реполяризации желудочков и длительности их электрической систолы коррелируют с развивающейся гипоксией; реже это проявляется для кардиоинтервала R-R (контроль и 1-й день), деполяризации правого предсердия, длительности предсердно-желудочкового проведения возбуждения (1-й день) и максимальной деполяризации желудочков миокарда (7-й день).

С целью определения разнообразия изменений биоэлектрических процессов сердца в период ОГ использовали их интегральную оценку (I_M) по нормированным значениям, с дифференциацией на гиперреактивные, мезореактивные и гипореактивные (рис. 2А). В силу особенностей метода нормирования закономерно было наблюдать статистически значимые ($p < 0,001$) отклонения I_M полярно отличающихся выборок (гипер- и гипореактивные) от средней (равной 0). При этом вне зависимости от этапа исследования процент эпизодов встречаемости того или иного типа реакции от общей численности ($n=87$, $n=42$ на 16-й день после ИНГ тренировок) за период действия ОГ мало различался (рис. 2В). Так, частота встречаемости гиперреактивных эпизодов находилась в пределах 24,1–29,9%, мезореактивных — 42,5–47,1%, гипореактивных — 27,6–28,7%, что характерно для нормального распределения с максимумом частоты ближе к средним значениям. Важно отметить крайне редкую индивидуальную стабильность одного и того же типа реакции в период (5, 10 и 20 мин) действия ОГ и их изменчивость на этапах исследования. В основном полярно отличающиеся по типу реакции сменялись на мезореактивные, или наоборот.

При оценке величины отклонений I_M от средней установлено, что реакция по гиперреактивному типу на 7-й день после ИНГ статистически значимо увеличивалась ($p=0,050$), а на 16-й день — ещё в большей степени ($p=0,009$) относительно контроля; по аналогии увеличивалось и отклонение по гипореактивному типу ($p=0,050$, $p < 0,001$ (рис. 2А). Вариативность (судя по дисперсии) отклонений по гипер- и гипореактивному типам существенно не изменялась, а по мезореактивному типу статистически значимо увеличивалась только на 16-й день после ИНГ тренировок ($F=3,27$, $p=0,002$) относительно контроля.

Анализ отклонений оксигенации крови вне зависимости от типа хроноинотропной реакции на ОГ (рис. 2С) указывает на аналогичную общую картину (описанной выше) направленность изменений SpO_2 на этапах исследования. При этом статистических различий уменьшения $SpO_2\%$ между группами с гипер- и гипореактивными реакциями не обнаруживается ($p > 0,05$). Наблюдается лишь тенденция к большему уменьшению $SpO_2\%$ при гипореактивном типе реагирования на ОГ, чем при гиперреактивном.

ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что одна из закономерностей изменений БА сердца при однократной 20-минутной ОГ (12,3% O_2)

проявляется в увеличении деполяризации правого предсердия и времени предсердно-желудочкового проведения возбуждения, что, по-видимому, связано с необходимостью преодоления нагрузки на правое сердце, вызванной нарастанием его кровенаполнения и увеличением сопротивления сосудов малого круга кровообращения [19]. При этом происходит уменьшение амплитуды максимальной деполяризации желудочков, их быстрой конечной реполяризации и времени электрической систолы желудочков миокарда на фоне общего положительного хронотропного эффекта сердца. Подобные эффекты при ОГ объясняются [19] изменением процессов регуляции деятельности сердца, заключающихся в уменьшении тонуса центров блуждающих нервов, повышении симпатической активности и увеличении содержания катехоламинов в крови.

Показано, что после курса ИНГ тренировок отклонения параметров ЭКГ (R-II, R-R, P-Q, Q-T) на ОГ статистически значимо не отличались ($p > 0,05$) от контроля, свидетельствуя об относительной стабильности процессов регуляции по отклонению максимальной деполяризации желудочков, ритма сердца и временных составляющих сократительной активности миокарда вне зависимости от степени развивающейся гипоксии. Замечено также, что на 7-й и 16-й дни после курса ИНГ тренировок при ОГ не изменялась БА правого предсердия, свидетельствуя о нормализации мощности работы правого сердца, свойственной для состояния относительного покоя. Характерно, что на протяжении всего периода после ИНГ тренировок при ОГ понижение амплитуды зубца T-II постепенно уменьшается, указывая на ослабление процессов торможения сокращения волокон миокарда в фазе быстрой конечной реполяризации. По-видимому, это может являться одним из позитивных эффектов гипоксического тренинга, формирующего оптимизацию мощности систолического сокращения как неспецифического адаптивного фактора повышения устойчивости сердца к развивающейся гипоксии.

Примечательно, что отклонения амплитуды быстрой конечной фазы реполяризации желудочков и длительности их электрической систолы положительно коррелируют с таковым оксигенации крови при ОГ (за исключением периода с малой выборкой). Этот факт подчёркивает повышенную сопряжённость механизмов регуляции мощности систолы желудочков с развивающейся гипоксией. Характерно также, что только в 1-е сутки после ИНГ тренировок отклонения большинства параметров ЭКГ (кроме R-II) при ОГ коррелируют с оксигенацией крови, в остальных случаях (с разным составом) обнаруживаются по три связи. Видимо, изменения количества и состава временных связей после гипоксических тренировок обуславливаются сложностью динамической сопряжённости биоэлектрических процессов сердца с развивающейся гипоксией, которые не всегда подлежат описанию линейной корреляцией.

Интегральная оценка БА сердца по типам реакции в период (5, 10 и 20 мин) действия ОГ показала относительную стабильность эпизодов с гипер-, гипо- и мезореактивным реагированием, с доминированием последнего на всех периодах исследования. Превалирование мезореактивных эпизодов практически повторяет общую картину средних значений абсолютных отклонений параметров ЭКГ, указывая на поддержание повышенной нейрогуморальной активности при гипоксии. Также характерно, что по мере действия гипоксического фактора в большинстве эпизодов полярно отличающиеся реакции (положительный и отрицательный хроноинотропный эффекты) с разной периодичностью сменяются мезореактивным ответом, или наоборот. Важно заметить, что очень редко можно наблюдать один тип реагирования в период действия ОГ, а также однородность и последовательность реакций на этапах исследования. Изменчивую картину отклонений параметров ЭКГ в процессе действия разной степени ОГ мы отмечали и раньше [17]. Очевидно, такая особенность реакции при остром гипоксическом воздействии может обуславливаться индивидуальной изменчивостью активности регуляторных каналов сердца, контролируемых вегетативной нервной системой с её медиаторами, модулирующими автономную регуляцию сердечных функций [20, 21]. Конечно, нельзя исключать индивидуальную лабильность и чувствительность центральных механизмов регуляции к дефициту кислорода [22].

Как было показано, на 7-й и 16-й дни после ИНГ тренировок происходит увеличение отклонений интегральных значений ЭКГ полярно отличающихся типов реагирования на ОГ относительно контроля, а также нарастание вариативности мезореактивных проявлений. По-видимому, причиной таких кардиоэффектов после ИНГ тренировок может являться нарастание чувствительности миокарда к периодически изменяющимся пара- или симпатическим влияниям при ОГ. Вне зависимости от типа реакции всегда доминирующими в интегральном численном значении являются индексы амплитудных параметров ЭКГ, что важно учитывать при комплексной и дифференцированной оценке кардиальных эффектов.

Важно отметить, что при полярно отличающихся интегральных значениях хроноинотропных реакций отклонения оксигенации крови существенно не различаются. Однако прослеживается чёткая тенденция к меньшему развитию гипоксемии в эпизодах с положительным и большему её развитию — в эпизодах с отрицательным хроноинотропным эффектом. Очевидно, при положительном хроноинотропном эффекте больше используется удельное потребление кислорода для обеспечения повышенной активности сердца, чем при отрицательном эффекте, когда увеличивающийся дефицит кислорода компенсируется усилением гликолиза [3]. Это косвенно может свидетельствовать о регулируемом характере изменения биоэнергетики миокарда под контролем нейрогуморальной системы в процессе действия ОГ.

Таким образом, установленные закономерности отклонений параметров ЭКГ, их интегральные типологические особенности при развивающейся гипоксемии могут служить маркерами оценки состояния напряжения деятельности сердца человека на холоде, особенно при хроническом его действии, что характерно для регионов Севера России с присущим им проявлением в виде хронического гипоксического синдрома [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что действие ОГ приводит к увеличению БА правого предсердия, замедлению предсердно-желудочковой проводимости возбуждения, а также к уменьшению активности миокарда в фазе систолы желудочков, длительности их электрической систолы и кардиоцикла. Гипоксическая тренировка в отставленный период нивелирует изменения БА правого предсердия на ОГ и ослабляет торможение активности желудочков миокарда в фазе быстрой конечной реполяризации, свидетельствуя о повышении эффективности и устойчивости работы сердца к развивающейся гипоксемии. Характерно, что отклонения зубца T_{1II} и длительности Q-T всегда положительно коррелируют с SpO_2 , указывая на повышенную сопряжённость регуляции систолы желудочков сердца с дефицитом кислорода в организме.

Интегральная оценка параметров ЭКГ показала, что количество эпизодов с выраженным положительным, нейтральным и отрицательным хроноинотропным эффектом в период действия ОГ, вне зависимости от этапа исследования, мало изменяется, а их последовательность носит индивидуальный изменчивый характер. Установлено, что на 7-й и 16-й дни после гипоксических тренировок существенно увеличиваются отклонения интегральных значений БА сердца, характеризующих положительный и отрицательный хроноинотропные эффекты, что говорит о расширении диапазона амплитуды ответа на действие гипоксии или повышении функциональной мобильности сердца. При этом обнаруживается чётко выраженная направленность к уменьшению развития гипоксемии в эпизодах с положительным и большему её развитию в эпизодах с отрицательным хроноинотропным эффектом.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарности. Авторы выражают признательность выпускнику Сыктывкарского госуниверситета А.А. Илюшичеву за техническую помощь при проведении исследований.

Вклад авторов. М.И. Бочаров — определение концептуальной основы работы, разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация данных, подготовка первого варианта статьи, переработка статьи на предмет интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи; А.С. Шилов — обработка данных, подготовка первого варианта аннотации и методов исследования, перевод на английский язык аннотации,

правки списка литературы, утверждение рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания № 122040600069-6.

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

Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. The authors express their gratitude to A.A. Ilyushichev, a graduate of Syktyvkar State University, for

technical assistance in conducting research.

Authors' contribution. M.I. Bocharov — definition of the conceptual basis of the work, development of the research design, analysis and interpretation of data, preparation of the first version of the article, processing of the article for intellectual content, final approval of the manuscript; A.S. Shilov — data processing, preparation of the first version of the abstract and research methods, translation into English of the abstract, edits of the list references, approval of the manuscript. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. The work was performed within the framework of state task No. 122040600069-6.

Competing interests. The authors declare that there are no obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

Patients' consent. Written consent was obtained from all the study participants before the study screening in according to the study protocol approved by the local ethic committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Newsholme P., De Bittencourt P.I., O'Hagan C., et al. Exercise and possible molecular mechanisms of protection from vascular disease and diabetes: the central role of ROS and nitric oxide // *Clin Sci (Lond)*. 2009. Vol. 118, N 5. P. 341–349. doi: 10.1042/CS20090433
- Semenza G.L. Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine // *Cell Physiol Biochem*. 2012. Vol. 148, N 3. P. 399–408. doi: 10.1016/j.cell.2012.01.021
- Лукиянова Л.Д. Сигнальные механизмы гипоксии. Москва: РАН, 2019. EDN: ZXWRNB
- Агаджанян Н.А., Миррахимов М.М. Горы и резистентность организма. Москва: Наука, 1970.
- Физиология человека в условиях высокогорья / под ред. О.Г. Газенко. Москва: Наука, 1987.
- Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука, 1980. EDN: RZYABH
- Куликов В.Ю., Ким Л.Б. Кислородный режим при адаптации человека на Крайнем Севере. Новосибирск: Наука, 1987. EDN: SEWFPZ
- Пастухов Ю.Ф., Максимов А.Л., Хаскин В.В. Адаптация к холоду и условиям Субарктики: проблемы термофизиологии. Т. 1. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2003. EDN: QKMKER
- Неверова Н.П., Барбашова З.И., Кононов А.С. Система дыхания. В кн.: Экологическая физиология человека. Адаптация человека к различным климатогеографическим условиям (руководство по физиологии). Ленинград: Наука, 1980. С. 109–121.
- Авцын А.П., Марачев А.Г. Проявление адаптации и дизадаптации у жителей Крайнего Севера // *Физиология человека*. 1975. Т. 1, № 4. С. 587–600.
- Якименко М.А., Нешумова Т.В., Ткаченко Е.Я. Потребление кислорода и некоторые показатели внешнего дыхания при адаптации к холоду // *Физиология человека*. 1977. Т. 3, № 4. С. 717–719. EDN: SMOPGT
- Литтл М.А., Ханна Дж.М. Реакции высокогорных популяций на воздействие холода и других стрессорных факторов. В кн.: Биология жителей высокогорья. Москва: Мир, 1981. С. 276–328.
- Sutton J.R., Houston C.S., Coates G., editors. Hypoxia and cold. N.-Y.: Westport, Connecticut London: Praeger, 1987.
- Le Blanc J. Metabolic responses to cold and hypoxia. In: Hypoxia and cold. N.-Y., Westport, Connecticut London: Praeger, 1987. P. 33–43.
- Волков Н.И. Прерывистая гипоксия — новый метод тренировки, реабилитации и терапии // *Теория и практика физической культуры*. 2000. № 7. С. 20–23.
- Navarrete-Opazo A., Mitchell G.S. Therapeutic potential of intermittent hypoxia: a matter of dose // *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2014. Vol. 307, N 10. P. R1181–R1197. doi: 10.1152/ajpregu.00208.2014
- Бочаров М.И., Шилов А.С. Анализ вариаций биоэлектрической активности сердца человека при острых гипоксических воздействиях // *Экология человека*. 2022. Т. 29, № 3. С. 33–43. EDN: WXBMRK doi: 10.17816/humeco71603
- Койчубеков Б.К., Сорокина М.А., Мхитарян К.Э. Определение размера выборки при планировании научного исследования // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. № 4. С. 71–74. EDN: RZFUBV
- Малкин В.Б., Гиппенрейтер Е.Б. Острая и хроническая гипоксия. Москва: Наука, 1977.
- Аникина Т.А., Ситдилов Ф.Г. Пуриновые рецепторы сердца в онтогенезе. Казань: Типография ТГГПУ, 2011. EDN: QKTRMP
- Burnstock G. Purinergic signaling // *Br J Pharmacol*. 2006. Vol. 147, Suppl 1. P. S172–S187. doi: 10.1038/sj.bjp.0706429
- Новиков В.С., Сороко С.И., Шустов Е.Б. Дезадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция. Санкт-Петербург: Политехника-принт, 2018. EDN: XYPHID

REFERENCES

1. Newsholme P, De Bittencourt PI, O'Hagan C, et al. Exercise and possible molecular mechanisms of protection from vascular disease and diabetes: the central role of ROS and nitric oxide. *Clin Sci (Lond)*. 2009;118(5):341–349. doi: 10.1042/CS20090433
2. Semenza GL. Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine. *Cell Physiol Biochem*. 2012;148(3):399–408. doi: 10.1016/j.cell.2012.01.021
3. Lukyanova LD. Signaling mechanisms of hypoxia. Moscow: RAN; 2019. (In Russ.) EDN: ZXWRHB
4. Aghajanyan NA, Mirrakhimov MM. Mountains and body resistance. Moscow: Nauka; 1970. (In Russ.)
5. Gzenko OG, editor. Human physiology in the conditions of the highlands. Moscow: Nauka; 1987. (In Russ.)
6. Kaznacheev VP. Modern aspects of adaptation. Novosibirsk: Nauka; 1980. (In Russ.) EDN: RZYABH
7. Kulikov VYu, Kim LB. *Oxygen regime during human adaptation in the Far North*. Novosibirsk: Nauka; 1987. (In Russ.) EDN: SEWFPZ
8. Pastukhov YuF, Maksimov AL, Khaskin VV. *Adaptation to cold and Subarctic conditions: problems of thermophysiology*. Magadan: SVNTs DVO RAN; 2003. Vol. 1. (In Russ.) EDN: QKMKER
9. Neverova NP, Barbashova ZI, Kononov AS. Respiratory system. In: *Ecological human Physiology. Human adaptation to various climatic and geographical conditions (manual of physiology)*. Leningrad: Nauka; 1980. P. 109–121. (In Russ.)
10. Avtsyn AP, Marachev AG. Manifestation of adaptation and maladaptation in the inhabitants of the Far North. *Human Physiology*. 1975;1(4):587–601. (In Russ.)
11. Yakimenko MA, Neshumova TV, Tkachenko EYa. Oxygen consumption and some indices of external respiration during adaptation to cold. *Human Physiology*. 1977;3(4):574–576. EDN: ZYQVLH
12. Little MA, Hanna JM. Reactions of high-altitude populations to the effects of cold and other stressors. In: *Biology of the inhabitants of the highlands*. Moscow: Mir; 1981. P. 276–328. (In Russ.)
13. Sutton JR, Houston CS, Coates G, editors. Hypoxia and cold. N.-Y.: Westport, Connecticut London: Praeger; 1987.
14. Le Blanc J. Metabolic responses to cold and hypoxia. In: Hypoxia and cold. N.-Y., Westport, Connecticut London: Praeger; 1987. P. 33–43.
15. Volkov NI. Intermittent hypoxia — a new method of training, rehabilitation and therapy. *Theory and Practice of Physical Culture*. 2000;(7):20–23. (In Russ.)
16. Navarrete-Opazo A, Mitchell GS. Therapeutic potential of intermittent hypoxia: a matter of dose. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2014;307(10):R1181–R1197. doi: 10.1152/ajpregu.00208.2014
17. Bocharov MI, Shilov AS. Variations of human heart bioelectrical signals at hypoxic exposure. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(3):33–43. EDN: WXBMRK doi: 10.17816/humeco71603
18. Koichubekov BK, Sorokina MA, Mkhitarian KE. Sample size determination in planning of scientific research. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2014;(4):71–74. EDN: RZFUBV
19. Malkin VB, Gippenreiter EB. *Acute and chronic hypoxia*. Moscow: Nauka; 1977. (In Russ.)
20. Anikina TA, Sitdikov FG. *Purinoreceptors of the heart in ontogenesis*. Kazan: Tipografiya TGGPU; 2011. (In Russ.) EDN: QKTRMP
21. Burnstock G. Purinergic signalling. *Br J Pharmacol*. 2006;147(Suppl 1):S172–S181. doi: 10.1038/sj.bjp.0706429
22. Novikov VS, Soroko SI, Shustov EB. Maladaptation states of a person under extreme influences and their correction. St. Petersburg: Polytechnic-print; 2018. (In Russ.) EDN: XYPHID

ОБ АВТОРАХ

***Бочаров Михаил Иванович**, д-р биол. наук, профессор;
адрес: Россия, 167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24;
ORCID: 0000-0001-6918-5523;
eLibrary SPIN: 7435-1550;
e-mail: bocha48@mail.ru

Шилов Александр Сергеевич, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0002-0520-581X;
eLibrary SPIN: 9039-4883;
e-mail: shelove@list.ru

AUTHORS' INFO

***Mikhail I. Bocharov**, Dr. Sci. (Biology), Professor;
address: 24 Communisticheskaya str., Syktyvkar, Russia, 167982;
ORCID: 0000-0001-6918-5523;
eLibrary SPIN: 7435-1550;
e-mail: bocha48@mail.ru

Alexander S. Shilov, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0002-0520-581X;
eLibrary SPIN: 9039-4883;
e-mail: shelove@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637496>

Соматическая характеристика женщин старших возрастных групп Якутска

В.А. Алексеева, А.Б. Гурьева

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Исследование антропометрических и биоимпедансометрических параметров женщин разных возрастных групп имеет фундаментальное значение для повышения продолжительности и улучшения качества жизни женщин старшего возраста.

Цель. Определение антропометрических и биоимпедансометрических параметров женщин зрелого и пожилого возраста, проживающих в Якутске.

Материалы и методы. Проведено антропометрическое и биоимпедансометрическое обследование 82 женщин Якутска (42 женщины второго периода зрелого возраста, 40 женщин пожилого возраста), занимающихся любительским плаванием. Биоимпедансометрическое обследование проведено с помощью анализатора ABC-01 «Медасс» (Россия). Определены биофизические параметры организма: активное и реактивное сопротивление тканей, фазовый угол, компоненты тела (жировая масса, скелетно-мышечная масса, тощая масса, активная клеточная масса), показатели гидратации (общая вода, внеклеточная и внутриклеточная вода), показатели основного и удельного обмена веществ. Статистический анализ материала выполнен с использованием пакета прикладных программ SPSS для Windows (версия 22,0).

Результаты. У женщин пожилого возраста при сравнении с показателями женщин второго зрелого возраста установлены статистически значимо большие показатели массы тела, индекса массы тела, окружности талии. Согласно полученным результатам, женщины из Якутии имеют существенно меньшие габаритные показатели тела (длина и масса тела, обхват бёдер), чем женщины из Саратовской области и Красноярского края. Анализ биоэлектрических параметров показал, что женщины пожилого возраста имеют статистически значимо меньшие параметры активного и реактивного сопротивления тканей и величины фазового угла. Женщины пожилого возраста имели высокое абсолютное и относительное значение жировой массы, абсолютное значение тощей массы тела. Абсолютные параметры активной клеточной и скелетно-мышечной массы не обнаружили статистически значимых различий между обследованными группами женщин. Абсолютные значения общей и внутриклеточной воды у женщин пожилого возраста значимо выше, чем у женщин другой возрастной группы.

Заключение. Проведённое исследование показало существующие различия в антропометрических и биоимпедансометрических показателях организма у женщин разных возрастных групп. Важно учитывать возрастные и этнические факторы при оценке физического здоровья женщин и при разработке медико-социальных программ по поддержанию их здоровья.

Ключевые слова: женщины; Якутия; пожилой возраст; антропометрия; биоимпедансометрия.

Как цитировать:

Алексеева В.А., Гурьева А.Б. Соматическая характеристика женщин старших возрастных групп Якутска // Экология человека. 2024. Т. 31, № 5. С. 403–411. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637496>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637496>

Somatic characteristics of older women in Yakutsk

Viluya A. Alekseeva, Alla B. Guryeva

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The study of anthropometric and bioimpedance parameters in women across different age groups is essential for increasing life expectancy and improving the quality of life of older women.

AIM: To determine the anthropometric and bioimpedance parameters of middle-aged and older women living in Yakutsk.

MATERIALS AND METHODS: Anthropometric and bioimpedance assessments were conducted in 82 women in Yakutsk, including 42 women in the second period of middle age and 40 older women engaged in wellness swimming. Bioimpedance analysis was performed using the ABC-01 Medass analyzer (Russia). Such biophysical parameters as active and reactive tissue resistance, phase angle, body composition (fat mass, skeletal muscle mass, lean mass, active cellular mass), hydration indicators (total body water, extracellular water, and intracellular water), and basal and specific metabolic rates were measured. Statistical analysis was conducted using SPSS for Windows (version 22.0).

RESULTS: Older women exhibited significantly higher body weight, body mass index (BMI), and waist circumference compared to women in the second period of middle age. Additionally, women in Yakutia were found to have significantly smaller body dimensions (height, weight, and hip circumference) compared to women from the Saratov region and Krasnoyarsk Krai. Bioelectrical parameter analysis showed that older women had significantly lower active and reactive tissue resistance and phase angle values. They also demonstrated higher absolute and relative fat mass and absolute lean body mass. However, no statistically significant differences were observed in the absolute values of active cellular mass and skeletal muscle mass between the groups. Absolute values of total body water and intracellular water were significantly higher in older women than in middle-aged women.

CONCLUSION: This study identified significant differences in anthropometric and bioimpedance characteristics among women of different age groups. Age and ethnic factors should be considered when assessing women's physical health and developing medical and social programs aimed at maintaining their well-being.

Keywords: women; Yakutia; aged; anthropometry; bioimpedance analysis.

To cite this article:

Alekseeva VA, Guryeva AB. Somatic characteristics of older women in Yakutsk. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):403–411.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637496>

Received: 25.10.2024

Accepted: 23.11.2024

Published online: 08.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637496>

雅库茨克高龄女性的体质特征研究

Viluya A. Alekseeva, Alla B. Guryeva

North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

摘要

背景。研究不同年龄组女性的体格测量和生物电阻抗参数对于延长寿命和改善高龄女性的生活质量具有重要意义。

研究目的。确定居住在雅库茨克的成熟期和高龄女性的体格测量和生物电阻抗参数。

材料与方法。对雅库茨克的82名女性（42名第二成熟期女性和40名高龄女性）进行了体格测量和生物电阻抗检查，她们均从事业余游泳活动。生物电阻抗检查使用了ABC-01 “Medass” 分析仪（俄罗斯）。测定的生物物理参数包括：组织的主动和反应性电阻、相角、身体成分（脂肪质量、骨骼肌质量、瘦体质量、活性细胞质量）、水合状态指标（总水分、细胞外和细胞内水分），以及基础代谢和特定代谢率指标。统计分析通过SPSS for Windows（版本22.0）软件完成。

结果。与第二成熟期女性相比，高龄女性的体重、体重指数和腰围显著较高。研究表明，雅库茨克女性的身体尺寸（身高、体重、臀围）明显小于萨拉托夫州和克拉斯诺亚尔斯克边疆区的女性。生物电参数分析显示，高龄女性的组织主动和反应性电阻及相角显著较低。高龄女性的脂肪质量（绝对值和相对值）以及瘦体质量的绝对值显著较高。活性细胞质量和骨骼肌质量的绝对值在两组女性之间无显著差异。高龄女性的总水分和细胞内水分的绝对值显著高于另一年龄组女性。

结论。研究显示，不同年龄组女性的体格测量和生物电阻抗参数存在显著差异。在评估女性身体健康状况及制定旨在维护其健康的医疗社会计划时，应充分考虑年龄和种族因素的影响。

关键词:女性；雅库特；高龄；体格测量；生物电阻抗测量。

引用本文:

Alekseeva VA, Guryeva AB. 雅库茨克高龄女性的体质特征研究. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(5):403–411.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco637496>

收到: 25.10.2024

接受: 23.11.2024

发布日期: 08.12.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Исследование антропометрических и биоимпедансометрических параметров женщин различных возрастных групп имеет важное значение для понимания особенностей функционирования организма и для разработки эффективных мер по сохранению здоровья женщин старшего поколения [1, 2]. Пожилой возраст связан с рядом структурных и функциональных изменений в организме, которые могут негативно влиять на здоровье женщины [3, 4]. Биоимпедансные показатели можно использовать для оценки морфофункционального состояния организма и мониторинга здоровья женщин старших возрастных групп. До настоящего времени в Якутии не было научных исследований по изучению биоимпедансных параметров женщин зрелого и пожилого возраста. В существующих работах, изучающих компоненты тела женщин старших возрастных групп, использовали метод Матейка [5]. Изучение состава тела населения Якутии с использованием биоимпедансометрии проводили в основном на лицах молодого возраста (студенты, спортсмены) [6, 7], имеются единичные работы, проведённые в группах лиц с эндокринной и пульмонологической патологией [8, 9]. Таким образом, имеющиеся на данный момент научные работы с использованием биоимпедансометрии не охватывают все возрастные, половые, этнические и социальные группы населения Якутии.

Настоящее исследование имеет фундаментальное значение для понимания возрастных изменений в организме женщин, проживающих в экстремальных климато-географических условиях Якутии, и для разработки мер по предотвращению возрастных заболеваний. Это может помочь улучшить качество жизни местных женщин и обеспечить более высокий уровень здоровья всего населения Якутии. Результаты исследования также могут помочь в разработке индивидуализированных программ по уходу за здоровьем женщин старшего поколения с учётом их биологических особенностей и потребностей.

Цель исследования. Определение антропометрических и биоимпедансометрических параметров женщин зрелого и пожилого возраста, проживающих в Якутске.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено антропометрическое и биоимпедансометрическое обследование 82 женщин, проживающих в Якутске и посещающих групповые занятия плаванием. Все обследованные женщины относились к группе работников, занимающихся преимущественно умственным трудом (руководители предприятий и организаций, учителя общеобразовательных школ, воспитатели, преподаватели, бухгалтеры).

Критерии исключения из исследования: хронические болезни, влияющие на состав тела (эндокринная патология, онкологические заболевания и др.); беременность; наличие кардиостимуляторов; отказ от обследования.

По анкетным данным установлено, что все обследованные женщины были якутской национальности, возраст — от 35 до 67 лет ($54,10 \pm 0,93$ года). По возрастной периодизации онтогенеза человека, принятой на VII Всесоюзной конференции по проблемам возрастной морфологии, физиологии и биохимии АПН СССР в 1965 г., женщин разделили на 2 группы: второй период зрелого возраста (от 36 до 55 лет) — 42 женщины; пожилой возраст (от 56 до 74 лет) — 40 женщин.

Тип исследования: одномоментное, выборочное.

Научное исследование проводили после положительного решения локального этического комитета Якутского научного центра комплексных медицинских проблем СО РАМН (протокол № 7 от 14.04.2018 г.).

Антропометрическое обследование включало измерение длины тела (ДТ), массы тела (МТ), обхватов талии и бёдер, расчёт индекса массы тела (ИМТ) по формуле: $ИМТ = МТ / ДТ^2$, кг/м².

Биоимпедансометрическое обследование проводили с помощью анализатора ABC-01 «Медасс» (Россия) с использованием одноразовых биоадгезивных электродов, прикреплённых в области лучезапястного и голеностопного суставов [10]. Определяли следующие параметры: биофизические параметры организма — активное (R_5 , R_{50} Ом) и реактивное (X_{c5} , X_{c50} Ом) сопротивление тканей, фазовый угол (ФУ); компоненты тела — жировая масса (ЖМ), скелетно-мышечная масса (СММ), тощая масса (ТМ), активная клеточная масса (АКМ); показатели гидратации — общая вода, внеклеточная вода, внутриклеточная вода; величину основного и удельного обмена веществ.

Статистический анализ материала выполняли с использованием пакета прикладных программ SPSS для Windows (версия 22,0). Провели вычисления распределения отдельных признаков и оценку основных характеристик распределения — среднее значение (M), ошибка среднего (m), стандартное отклонение (SD), медиана (Me), интерквартильный размах (Q_{25} ; Q_{75}). Нормальность распределения данных оценивали по критерию Колмогорова–Смирнова. Сравнительный анализа показателей проводили по U-критерию Манна–Уитни. Различия признавали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Среднее значение ДТ у обследованных женщин составило $156,50 \pm 0,69$ см, МТ — $66,60 \pm 1,27$ кг, ИМТ — $27,10 \pm 0,45$ кг/м², окружность талии — $90,60 \pm 1,23$ см, окружность бёдер — $102,40 \pm 0,86$ см. Антропометрические показатели женщин в зависимости от возраста представлены в табл. 1.

Биоэлектрические параметры женщин обследованных групп представлены в табл. 2, абсолютные и относительные значения компонентов тела — в табл. 3.

Абсолютные и относительные показатели гидратации организма, а также параметры основного и удельного

Таблица 1. Антропометрические показатели женщин Якутска разных возрастных групп

Table 1. Anthropometric indicators of Yakutsk women of different age groups

Параметр Parameter	2-й зрелый возраст (n=42) 2 nd mature age (n=42)			Пожилый возраст (n=40) Elderly age (n=40)		
	M±m	SD	Me [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	M±m	SD	Me [Q ₂₅ ; Q ₇₅]
Длина тела, см Body length (cm)	156,7±0,9	6,2	158,0 [152,0; 162,2]	156,4±1,0	6,4	156,0 [151,2; 162,5]
Масса тела, кг Body weight (kg)	63,6±1,7	10,8	63,0 [53,7; 72,0]	69,8±1,8	11,5	69,5 [65,2; 80,7]
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index (kg/m ²)	25,9±0,6	4,2	26,8 [21,7; 29,1]	28,4±0,6	3,7	29,9 [25,8; 31,2]
Окружность талии, см Waist circumference (cm)	85,6±1,7	11,4	86,0 [75,5; 96,0]	94,9±1,5	9,3	94,0 [87,2; 102,0]
Окружность бёдер, см Hip circumference (cm)	101,3±1,1	7,3	102,0 [93,7; 107,2]	103,7±1,3	8,2	106,0 [99,2; 110,0]

Таблица 2. Биоэлектрические параметры женщин Якутска разных возрастных групп

Table 2. Bioelectric parameters of Yakutsk women of different age groups

Параметр Parameter	2-й зрелый возраст (n=42) 2 nd mature age (n=42)			Пожилый возраст (n=40) Elderly age (n=40)			Значимость различий The significance of the differences
	M±m	SD	Me [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	M±m	SD	Me [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	
Активное сопротивление тканей (R50), Ом Active tissue resistance (R50, Ohms)	662,2±9,8	63,2	654,0 [609,2; 708,0]	618,3±12,2	77,3	611,5 [562,0; 637,7]	p=0,001
Активное сопротивление тканей (R5), Ом Active tissue resistance (R5, Ohms)	745,7±10,5	68,2	737,0 [688,5; 799,2]	691,3±12,6	79,8	681,5 [626,7; 721,5]	p <0,001
Реактивное сопротивление тканей (Xc50), Ом Reactive resistance of tissues (Xc50, Ohms)	69,6±1,9	7,7	68,3 [65,0; 77,1]	61,1±1,1	7,1	60,6 [57,7; 65,5]	p <0,001
Реактивное сопротивление тканей (Xc5), Ом Reactive resistance of tissues (Xc5, Ohms)	32,7±0,7	4,5	33,7 [29,6; 36,3]	29,6±0,6	3,8	29,6 [27,4; 31,7]	p=0,001
Фазовый угол Phase angle	6,0±0,1	0,6	6,1 [5,7; 6,4]	5,7±0,1	0,7	5,8 [5,0; 6,2]	p=0,016

обмена веществ женщин второго периода зрелого возраста и пожилого возраста представлены в табл. 4.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение антропометрических параметров женщин обследованных групп установило, что по показателям ДТ и окружности бёдер статистически значимых различий

не было. По средним значениям МТ (p=0,037), ИМТ (p=0,002) и окружности талии (p=0,001) значимо бóльшие параметры выявлены у женщин пожилого возраста. При сравнении полученных параметров с показателями женщин аналогичных возрастных периодов, проживающих в других регионах России, женщины Якутии имели статистически значимо меньшие параметры ДТ и МТ. Так, по данным Е.А. Анисимовой и соавт. [11], у женщин второго

Таблица 3. Компоненты тела женщин Якутска разных возрастных групп
Table 3. Body composition of Yakutsk women of different age groups

Параметр Parameter	2-й зрелый возраст (n=42) 2 nd mature age (n=42)			Пожилый возраст (n=40) Elderly age (n=40)			Значимость различий The significance of the differences
	M±m	SD	Me [Q25; Q75]	M±m	SD	Me [Q25; Q75]	
Жировая масса, кг Fat mass (kg)	23,5±1,1	7,4	23,8 [15,7; 29,2]	27,5±1,2	7,56	28,7 [23,2; 33,5]	p=0,025
Жировая масса, % Fat mass (%)	36,1±0,9	5,7	36,0 [30,6; 40,5]	38,6±0,9	5,53	40,8 [35,1; 41,7]	p=0,025
Активная клеточная масса, кг Active cell mass (kg)	21,5±0,4	2,5	22,1 [19,4; 23,3]	21,9±0,5	2,98	21,5 [20,1; 23,4]	–
Активная клеточная масса, % Active cell mass (%)	34,2±0,4	2,9	34,4 [31,7; 37,1]	31,9±0,6	3,87	31,7 [29,6; 34,1]	p=0,002
Скелетно-мышечная масса, кг Musculoskeletal mass (kg)	16,5±0,3	1,9	16,3 [15,6; 18,0]	16,5±0,4	2,47	15,8 [14,9; 18,3]	–
Скелетно-мышечная масса, % Musculoskeletal mass (%)	26,2±0,4	2,5	26,1 [23,9; 28,0]	23,9±0,3	1,95	23,7 [22,3; 25,5]	p < 0,001
Тощая масса, кг Lean weight (kg)	40,0±0,6	3,7	40,3 [37,5; 42,8]	42,3±0,7	4,35	41,2 [39,5; 45,8]	p=0,021
Тощая масса, % Lean weight (%)	63,9±0,9	5,7	63,9 [59,5; 69,4]	61,4±0,9	5,53	59,2 [58,3; 64,9]	p=0,025

Таблица 4. Показатели гидратации организма и обмена веществ женщин Якутска разных возрастных групп
Table 4. Indicators of body hydration and metabolism of Yakutsk women of different age groups

Параметр Parameter	2-й зрелый возраст (n=42) 2 nd mature age (n=42)			Пожилый возраст (n=40) Elderly age (n=40)		
	M±m	SD	Me [Q ₂₅ ; Q ₇₅]	M±m	SD	Me [Q ₂₅ ; Q ₇₅]
Общая вода, кг Total water (kg)	29,3±0,4	2,7	29,5 [27,4; 31,4]	30,9±0,5	3,2	30,2 [28,9; 33,5]
Общая вода, % Total water (%)	46,7±0,6	4,1	46,8 [43,5; 50,7]	44,9±0,6	4,0	43,3 [42,7; 47,6]
Внеклеточная вода, кг Extracellular water (kg)	12,2±0,2	1,4	12,1 [11,3; 13,1]	12,8±0,3	1,6	12,5 [11,8; 14,2]
Внеклеточная вода, % Extracellular water (%)	41,4±0,2	1,1	41,1 [40,9; 42,2]	41,1±0,2	1,3	41,2 [40,6; 42,1]
Внутриклеточная вода, кг Intracellular water (kg)	17,2±0,2	1,3	17,2 [16,1; 18,2]	18,2±0,2	1,6	17,7 [17,1; 19,3]
Внутриклеточная вода, % Intracellular water (%)	58,6±0,2	1,1	58,9 [57,8; 59,3]	58,8±0,2	1,2	58,6 [57,9; 59,1]
Основной обмен, ккал/сут Basal metabolic rate (kcal/day)	1296,0±12,3	79,7	1314,0 [1229,7; 1352,0]	1310,6±14,9	94,2	1295,5 [1250,2; 1356,5]
Удельный обмен, ккал/м ² Specific metabolic rate (kcal/m ²)	32,5±0,2	1,5	32,0 [31,7; 33,2]	31,0±0,3	1,9	30,5 [30,0; 32,7]

зрелого возраста Саратовской области ДТ в среднем равна 162,7±0,5 см, МТ — 76,9±1,6 кг; у женщин пожилого возраста — 158,2±0,6 см и 79,3±1,5 кг соответственно. Женщины Красноярского края тех же возрастных периодов имели следующие показатели ДТ и МТ: во втором зрелом возрасте — 161,30±0,32 см и 73,00±0,76 кг, в пожилом возрасте — 157,20±0,40 см и 78,20±0,88 кг соответственно [12]. Обхват бёдер женщин, проживающих

в Якутии, также статистически значимо меньше, а обхват талии — больше при сравнении с показателями женщин других регионов России. Антропологический портрет индивида зависит от многих факторов, включая генетическую предрасположенность, образ жизни, особенности питания, климатогеографические данные и т.д. [13–15]. Проведённый сравнительный анализ показал, что возрастные изменения размеров тела женщин различных географических регионов характеризуются общими чертами, однако наблюдаются определённые вариации в тотальных размерах тела, обусловленные этническими особенностями.

Параметры активного и реактивного сопротивления тканей, измеренные на частоте 5 и 50 кГц, оказались статистически значимо меньшими у женщин пожилого возраста. Это может быть обусловлено изменениями проницаемости клеточных мембран и водно-электролитного состава в тканях организма, связанными с возрастными процессами, что может приводить к уменьшению электрического сопротивления тканей [16]. Величина ФУ также подвержена возрастным изменениям в сторону её уменьшения, так как она зависит от величины активного и реактивного сопротивления тканей.

Анализ полученных результатов выявил, что у женщин пожилого возраста значимо больше абсолютное и относительное значение ЖМ, абсолютное значение ТМ, а относительное содержание АКМ, СММ и ТМ было значимо меньше. Показатели АКМ (кг) и СММ (кг) между сравниваемыми группами женщин не имели статистически значимых различий. АКМ является важным индикатором состояния здоровья. Необходимо, чтобы величина АКМ оставалась стабильной на протяжении длительного времени. Ключевую роль в поддержании этих показателей, независимо от возраста, могут играть индивидуальные генетические особенности, регулярная физическая активность и адекватное питание [17–19].

Величина основного обмена не имела статистически значимых различий ($p=0,656$). Удельный обмен был значимо выше у женщин зрелого возраста ($p < 0,001$). Абсолютные показатели общей и внутриклеточной воды значимо больше у женщин пожилого возраста ($p=0,020$; $p=0,006$). Относительный показатель общей воды значимо больше у женщин второго периода зрелого возраста ($p=0,027$). Оба показателя внеклеточной воды в исследованных группах женщин не различались ($p=0,081$; $p=0,393$). Уровень гидратации организма женщины зависит от многих факторов. Важное значение в регуляции уровня воды в организме женщины имеет гормональный баланс, поэтому во время менопаузы происходит изменение количества воды и её распределение между различными тканями [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование установило, что обследованные группы женщин имели значимые различия

по показателям МТ, ИМТ, окружности талии. Эти параметры статистически значимо больше у женщин пожилого возраста. Согласно полученным результатам, женщины Якутии имеют существенно меньшие габаритные показатели тела (ДТ, МТ, обхват бёдер), чем женщины Саратовской области и Красноярского края. Анализ биоэлектрических параметров показал, что женщины пожилого возраста имеют статистически значимо меньшие параметры активного и реактивного сопротивления тканей (5 кГц; 50 кГц), что может быть обусловлено изменениями проницаемости клеточных мембран и водно-электролитного состава в тканях организма, связанными с возрастными процессами. Кроме того, исследование показало, что величина ФУ также подвержена возрастным изменениям в сторону снижения. Обнаружено, что у женщин пожилого возраста абсолютное и относительное значение ЖМ значительно выше, чем у женщин зрелого возраста. Кроме того, абсолютное значение ТМ также выше, а относительное содержание АКМ, СММ и ТМ — ниже. Однако абсолютные параметры АКМ и СММ не обнаружили статистически значимых различий между группами. Абсолютные значения общей и внутриклеточной воды у женщин пожилого возраста значительно выше, чем у женщин другой возрастной группы. Относительное значение общей воды больше у женщин второго периода зрелого возраста.

Таким образом, результаты исследования указывают на различия в антропометрических, биоимпедансометрических показателях организма у женщин разных возрастных групп Якутска.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.А. Алексеева — сбор и обработка материала, анализ полученных данных и написание текста; А.Б. Гурьева — концепция и дизайн исследования; написание текста. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

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

Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.A. Alekseeva — collection and processing of materials, analysis of the obtained data and writing the text; A.B. Guryeva — concept and design of the study; writing the text. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the

development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

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

Competing interests. The authors declares that there are no

obvious and potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

Patients' consent. Written consent was obtained from all the study participants before the study screening in according to the study protocol approved by the local ethic committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шутова Т.Н., Рыбакова Е.О. Изучение состава тела женщин и мужчин разных возрастных периодов в управлении состоянием здоровья // Учёные записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2018. № 12. С. 299–303. EDN: YUWZCH
2. Деревцова С.Н., Романенко А.А., Тихонова Н.В., Медведева Н.Н. Индекс массы тела и коэффициент скорости старения в оценке физического статуса женщин пожилого возраста // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2016. Т. 11, № 3. С. 414–417. EDN: WXDTZH doi: 10.14300/mnnc.2016.11091
3. Гладкая В.С., Масленникова А.В. Особенности компонентного состава тела у женщин с дисфункцией тазового дна // Медицина: теория и практика. 2021. Т. 6, № 4. С. 46–50. EDN: DWMZSW
4. Захарченко О.О., Шикина И.Б., Терентьева Д.С. Итоги диспансеризации населения старше 60 лет в Российской Федерации в 2016–2022 гг. // Профилактическая и клиническая медицина. 2023. № 3. С. 103–114. EDN: YNHXOE doi: 10.47843/2074-9120_2023_3_103
5. Гурьева А.Б., Алексеева В.А., Осинская А.А., Сергина Е.П. Население старших возрастных групп Севера: анатомо-антропологические аспекты (на примере представителей якутской национальности). Новосибирск: СибАК, 2021. EDN: LHLAPX
6. Гурьева А.Б., Алексеева В.А., Николаев В.Г. Антропометрические и биоимпедансометрические параметры студентов Якутии в контексте гендерных различий // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2019. № 1. С. 139–144. EDN: YYEKDB doi: 10.24411/2075-4094-2019-16208
7. Аржакова Л.И., Васильева Т.А., Чашкина А.М., Николаева Е.Н. Изменения физиометрических показателей и состава тела у юношей Республики Саха (Якутия) в пубертантном возрасте // Образовательный вестник Сознание. 2020. Т. 22, № 11. С. 55–60. EDN: OGPZST doi: 10.26787/nydha-2686-6846-2020-22-11-55-60
8. Сыдыкова Л.А., Матвеева Т.А. Биоимпедансный анализ у пациентов с недавно выявленным сахарным диабетом 2 типа якутской национальности. В кн.: Сахарный диабет-2023: от мониторинга к управлению: материалы V Российской междисциплинарной научно-практической конференции с международным участием; апрель 19–20, 2023. Новосибирск: Манускрипт, 2023. С. 144–147. EDN: HWFABS
9. Алексеева В.А., Гурьева А.Б., Аргунова А.Н., Борисова Е.П. Характеристика биоимпедансометрических параметров пациентов с болезнями органов дыхания // Современные вопросы биомедицины. 2024. Т. 8, № 3. С. 37. EDN: WQEEFC doi: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_37
10. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. EDN: QUUAFX
11. Анисимова Е.А., Лукина Г.А., Анисимов Д.И., Попрыга Д.В. Закономерности изменчивости антропо- и биоимпедансных параметров женщин в различные возрастные периоды // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 5-2. С. 10–17. EDN: TFRKPN
12. Синдеева Л.В., Петрова М.М., Николаев В.Г., и др. Антропометрические и биоимпедансометрические показатели — маркеры физического здоровья женского населения // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. С. 48. EDN: YTHYVI
13. Аверьянова И.В., Лоскутова А.Н., Карандашева В.О. Региональные особенности основных характеристик физического развития жителей Севера в онтогенетическом аспекте // Acta Biomedica Scientifica. 2022. Т. 7, № 5-2. С. 173–181. EDN: FREAF0 doi: 10.29413/ABS.2022-7-5-2.18
14. Николаев В.Г., Синдеева Л.В., Николенко В.Н., и др. Особенности физического развития женщин различных климато-географических зон Российской Федерации // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. С. 218. EDN: TYSJQX
15. Базарбаева С.М., Динмухамедова А.С., Айзман Р.И. Региональные морфофункциональные особенности развития студентов казахской национальности // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 4. С. 449–454. EDN: LZLGEG doi: 10.47470/0016-9900-2019-98-4-449-454
16. Николаев Д.В., Щелыкалина С.П. Фазовый угол: медицинские интерпретации и применения // Клиническое питание и метаболизм. 2021. Т. 2, № 1. С. 23–36. EDN: GCDJNQ doi: 10.17816/clinutr71646
17. Тецов В.П., Негашева М.А., Лапшина Н.Е. Изучение состава тела у взрослого населения: методические аспекты // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология. 2012. № 2. С. 43–52. EDN: OZKLJF
18. Булгакова С.В., Курмаев Д.П., Удалов Ю.Д., и др. Состав тела, функциональные, клинические и лабораторные параметры женщин пожилого и старческого возраста с синдромом саркопении // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2022. № 1. С. 59–79. EDN: KSFOMY doi: 10.24412/2312-2935-2022-1-59-79
19. Перевощикова Н.К., Селиверстов И.А., Дракина С.А., Черных Н.С. Биоимпедансный анализ в клинической практике // Мать и дитя в Кузбассе. 2021. № 3. С. 11–20. EDN: AYZYGG doi: 10.24412/2686-7338-2021-3-11-20
20. Чилова Р.А., Мартина М.Н., Сычёв Д.А., и др. Ожирение и женская фертильность. Социально-экономические аспекты нарушения питания // Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии. 2024. Т. 23, № 3. С. 66–77. EDN: TSFFBH doi: 10.20953/1726-1678-2024-3-66-77

REFERENCES

1. Shutova TN, Rybakova EO. Study of body composition of women and men of different age periods in the management of health condition. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*. 2018;(12):299–303. EDN: YUWZCH
2. Derevtsova SN, Romanenko AA, Tichonova NV, Medvedeva NN. Body mass index and aging rate indicators physical state of elderly women. *Medical News of North Caucasus*. 2016;11(3):414–417. EDN: WXDTZH doi: 10.14300/mnnc.2016.11091
3. Gladkaya VS, Maslennikova AV. Features of body component composition in women with pelvic floor dysfunction. *Medicine: Theory and Practice*. 2021;6(4):46–50. EDN: DWMZSW
4. Zakharchenko OO, Shikina IB, Terenteva DS. Results of the medical examination of the adult population over 60 years in the Russian Federation (2016–2021). *Preventive and Clinical Medicine*. 2023;(3):103–114. EDN: YNHXOE doi: 10.47843/2074-9120_2023_3_103
5. Guryeva AB, Alekseeva VA, Osinskaya AA, Sergina EP. The population of the older age groups of the North: anatomical and anthropological aspects (on the example of representatives of the Yakut nationality). Novosibirsk: SibAK; 2021. (In Russ.) EDN: LHLAPX
6. Guryeva AB, Alekseeva VA, Nikolaev VG. Anthropometric and bioimpedance parameters of the students of Yakutia in the context of gender differences. *Journal of New Medical Technologies, Edition*. 2019;(1):139–144. EDN: YYEKDB doi: 10.24411/2075-4094-2019-16208
7. Arzhakova LI, Vasilieva TA, Chashkina AM, Nikolaeva EN. Changes in physiometric indicators and body composition in young men of the republic of Sakha (Yakutia) in puberty. *Educational Bulletin Consciousness*. 2020;22(11):55–60. EDN: OGPZST doi: 10.26787/nydha-2686-6846-2020-22-11-55-60
8. Sydykova LA, Matveeva TA. Bioimpedance analysis in patients with newly diagnosed type 2 diabetes mellitus of Yakut nationality. In: Diabetes Mellitus 2023: from monitoring to management: proceedings of the V Russian Interdisciplinary Scientific and Practical Conference with International participation; April 19–20, 2023. Novosibirsk: Manuscript; 2023. P. 144–147. (In Russ.) EDN: HWFABS
9. Alekseeva VA, Gur'eva AB, Argunova AN, Borisova EP. Bioimpedance parameters of patients with respiratory diseases. *Modern Issues of Biomedicine*. 2024;8(3):37. EDN: WQEEFC doi: 10.24412/2588-0500-2024_08_03_37
10. Nikolaev DV, Smirnov AV, Bobrinskaya IG, Rudnev SG. Bioelectric impedance analysis of human body composition. Moscow: Nauka; 2009. EDN: QUUAFX
11. Anisimova EA, Lukina GA, Anisimov DI, Popryga DV. Patterns of variability of anthropo- and bioimpedance parameters of women in different age periods. *Theoretical and Applied Aspects of Modern Science*. 2014;(5-2):10–17. (In Russ.) EDN: TFRKPN
12. Sindeeva LV, Petrova MM, Nikolaev VG, et al. Anthropometric and bioimpedansometric indicators are markers of physical health in female population. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(5):48. EDN: YTHYVI
13. Averyanova IV, Loskutova AN, Karandasheva VO. Region-related patterns of the main physical development indicators observed in Northerners in the ontogenetic aspect. *Acta Biomedica Scientifica*. 2022;7(5-2):173–181. EDN: FREAF0 doi: 10.29413/ABS.2022-7.5-2.18
14. Nikolaev VG, Sindeeva LV, Nikolenko VN, et al. Features of physical development of women in different climatic zones of the Russian Federation. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(3):218. EDN: TYSJQX
15. Bazarbaeva SM, Dinmukhamedova AS, Aizman RI. Regional features of the morphofunctional development of students of Kazakh nationality. *Hygiene and Sanitation*. 2019;98(4):449–454. EDN: LZLGEQ doi: 10.47470/0016-9900-2019-98-4-449-454
16. Nikolaev DV, Shchelykalina SP. Phase angle: medical interpretations and applications. *Clinical Nutrition and Metabolism*. 2021;2(1):23–36. EDN: GCDJNQ doi: 10.17816/clinutr71646
17. Chtetsov VP, Negasheva MA, Lapshina NE. The studying of body composition in adults: methodological aspects. *Moscow University Anthropology Bulletin*. 2012;(2):43–52. EDN: OZKLJF
18. Bulgakova SV, Kurmaev DP, Udlov YuD, et al. Body composition, functional, clinical and laboratory parameters of elderly and senile women with sarcopenia syndrome. *Current Problems of Health Care and Medical Statistics*. 2022;(1):59–79. EDN: KSFOMY doi: 10.24412/2312-2935-2022-1-59-79
19. Perevoshchikova NK, Seliverstov IA, Drakina SA, Chernykh NS. Bioelectrical impedance analysis in clinical practice. *Mother and Baby in Kuzbass*. 2021;(3):11–20. EDN: AYZYYG doi: 10.24412/2686-7338-2021-3-11-20
20. Chilova RA, Martina MN, Sychev DA, et al. Obesity and female fertility. Socio-economic aspects of eating disorders. *Gynecology, Obstetrics and Perinatology*. 2024;23(3):66–77. EDN: TSFFBH doi: 10.20953/1726-1678-2024-3-66-77

ОБ АВТОРАХ

***Алексеева Вилуя Александровна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 677013, Якутск, ул. Кулаковского, д. 36;
ORCID: 0000-0002-9425-3062;
eLibrary SPIN: 9810-1785;
e-mail: viljen1974@mail.ru

Гурьева Алла Борисовна, д-р мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-2398-0542;
eLibrary SPIN: 7858-1241;
e-mail: guryevaab@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

***Viluya A. Alekseeva**, MD, Cand. Sci (Medicine);
address: 36 Kulakovskiy str., Yakutsk, Russia, 677013;
ORCID: 0000-0002-9425-3062;
eLibrary SPIN: 9810-1785;
e-mail: viljen1974@mail.ru

Alla B. Guryeva, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-2398-0542;
eLibrary SPIN: 7858-1241;
e-mail: guryevaab@mail.ru