

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

ЭКОЛОГИЯ



ЧЕЛОВЕКА

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 32, Issue 2, 2025

2

Том 32

2025



FOUNDERS:

- Northern State Medical University;
- Eco-Vector

PUBLISHER:

Eco-Vector

Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok,
191181 Saint Petersburg, Russia

E-mail: info@eco-vector.com

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

EDITORIAL OFFICE:

Address: 51 Troitsky Ave., Arkhangelsk 163000,
Russia

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

Phone: +7 (818) 2206563

PUBLICATION ETHICS

Journal's ethic policies are based on:

- ICMJE
- COPE
- ORE
- CSE
- EASE

OPEN ACCESS:

Immediate Open Access is mandatory
for all published articles

INDEXATION:

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

TYPESET:

completed in Eco-Vector

Copyeditor: 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 32 • Issue 2 • 2025

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

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

The journal publishes original articles and reviews.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Tatiana N. Unguryanu, MD, Dr. Sci. (Med), Associate Professor

North State Medical University (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0001-8936-7324

Deputy Editor-in-Chief

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

ORCID: 0000-0001-5923-0941

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

ORCID: 0000-0002-0270-8622

Science editor

Andrey O. Maryandyshev, MD, Dr. Sci. (Med), Professor (Arkhangelsk, Russia)

ORCID: 0000-0002-8485-5625

Executive editor

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

ORCID: 0000-0003-4982-4169

EDITORIAL COUNCIL

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

Ivan N. Bolotov, Dr. Sci. (Biol), Professor
(Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-3878-4192

Roman V. Buzinov, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor associate (St. Petersburg, Russia)
ORCID: 0000-0002-8624-6452

Valeriy A. Chereshnev, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Ekaterinburg, Russia)
ORCID: 0000-0003-4329-147X

Nataliya V. Dorshakova, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Petrozavodsk, Russia)
ORCID: 0000-0003-1072-9164

Mika Gissler, Professor (Finland)
ORCID: 0000-0001-8254-7525

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

Lyubov N. Gorbatova, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0003-0675-3647

Elena G. Ichitovkina, MD, Dr. Sci. (Med),
Associate Professor (Moscow, Russia)
ORCID: 0000-0001-8876-669X

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

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

Edgar A. Mordovsky, MD, Dr. Sci. (Med),
Associate Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-2346-9763

Igor G. Mosyagin, MD, Dr. Sci. (Med), Professor
(Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-9485-6584

Evert Nieboer, Professor (Canada)
ORCID: 0000-0001-5165-2832

Kersti Pärna, Professor associate (Estonia)
ORCID: 0000-0001-7677-9493

Magnus Per, Professor (Norway)
ORCID: 0000-0002-6427-4735

Kalediene Ramune, Professor (Lithuania)
ORCID: 0000-0003-3434-8091

Arja Rautio, Professor (Finland)
ORCID: 0000-0002-5816-533X

Halina Röllin, Professor (South Africa)
ORCID: 0000-0001-5247-6519

Marilza Vieira Cunha Rudge,
Professor (Brazil)
ORCID: 0000-0002-9227-832X

Jonatan Ruiz, Professor (Spain)
ORCID: 0000-0002-7548-7138

Zumin Shi, Professor (Qatar)
ORCID: 0000-0002-3099-3299

Genrikh A. Sofronov, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (St. Petersburg, Russia)
ORCID: 0000-0002-8587-1328

Andrey G. Soloviev, MD, Dr. Sci. (Med),
Professor (Arkhangelsk, Russia)
ORCID: 0000-0002-0350-1359

Pal Weihe, Professor (Faroe Islands)
ORCID: 0000-0001-8174-3671

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

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: https://eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ:

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

Тел. +7 (818) 220 6563;

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

ИНДЕКСАЦИЯ:

– SCOPUS

– Белый список научных журналов

– Google Scholar

– Ulrich's Periodicals directory

– ядро РИНЦ

– Russian Science Citation Index

– Norwegian National Center for Research Data

– реферативный журнал и база данных ВИНТИ

– Global Health

– CAB Abstracts

– ProQuest

– InfoBase Index

– КиберЛенинка

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

Литературный редактор: И.Г. Шевченко

Корректор: И.Г. Шевченко

Вёрстка: О.В. Устинкова

Сдано в набор 15.06.2025.

Подписано в печать 25.07.2025.

Выход в свет 11.08.2025.

Формат 60 × 88%. Печать офсетная.

Заказ . Цена свободная.

Усл. печ. л. 9.

Тираж 300 экз.

Отпечатано в ООО «Типография Экспресс В2В»

Россия, 191180, Санкт-Петербург, наб. реки

Фонтанки, д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1.

Тел.: +7 (812) 646 33 77

ПОДПИСКА:

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

OPEN ACCESS:

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

ОТДЕЛ РЕКЛАМЫ:

Тел.: +7 (968) 545 78 20

E-mail: 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. 2025. Т. 32, № 2.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 32 • № 2 • 2025

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

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

В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры и протоколы исследований.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Научный редактор

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

Ответственный секретарь

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ORIGINAL STUDY ARTICLES

Oleg N. Ragozin, Livhuwani Muthelo, Elena Yu. Shalamova, Andrei B. Gudkov, Irina A. Pogonysheva, Elina R. Ragozina, Denis A. Pogonyshev

The effect of solar radiation components on the partial density of surface air oxygen in subarctic and subtropical regions..... 80

Natalia F. Chuenko, Irina I.I. Novikova, Maria A. Lobkis, Sergey P. Romanenko, Oleg A. Savchenko, Vladimir A. Shirinskii, Zhanna V. Gudinova

The effect of indoor plants on indoor air quality in child care centers..... 90

Fatima A. Bichkaeva, Ekaterina V. Nesterova, Olga S. Vlasova, Boris A. Shengof, Alexandra V. Strelkova, Nina F. Baranova, Tatyana B. Gretskaia

Quantitative assessment of traditional and imported meat consumption by indigenous and local caucasian populations of the modern Arctic 100

Lyudmila A. Gusachenko, Olga G. Litovchenko, Rozaliia R. Gabidullina, Yuriy A. Chemakin

Prevalence of natural ABO antibodies in donors in Surgut..... 110

Elena V. Zamenina, Natalya I. Ivonina, Andrei A. Fokin, Irina M. Roshchevskaya

Ventricular repolarization in apparently healthy young men under short-term normobaric isocapnic and hypercapnic hypoxic exposure 123

Alexander A. Kazachenko, Alexey N. Kuchmin, Elena P. Golova, Anna V. Tanich, Igor M. Borisov, Maxim I. Muzikin, Viktoriia A. Burletova, Marina A. Budkovaia, Sergei Yu. Tytiuk

Prevalence of anxiety and depression symptoms and their association with sleep quality in patients with hypertension 135

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*О.Н. Рагозин, Л. Мутэло, Е.Ю. Шаламова, А.Б. Гудков, И.А. Погonyшева,
Э.Р. Рагозина, Д.А. Погonyшев*

Влияние компонентов солнечной радиации на парциальную плотность кислорода
приземного слоя воздуха в субарктическом и субтропическом регионах 80

*Н.Ф. Чуенко, И.И. Новикова, М.А. Лобкис, С.П. Романенко, О.А. Савченко,
В.А. Ширинский, Ж.В. Гудинова*

Роль комнатных растений в изменении качества воздушной среды в помещениях
дошкольных образовательных организаций 90

*Ф.А. Бичкаева, Е.В. Нестерова, О.С. Власова, Б.А. Шенгоф, А.В. Стрелкова,
Н.Ф. Баранова, Т.Б. Грецкая*

Оценка количественного потребления традиционной и привозной мясной продукции
среди аборигенного и европеоидного населения Арктики на современном этапе 100

Л.А. Гусаченко, О.Г. Литовченко, Р.Р. Габидуллина, Ю.А. Чемакин

Частота встречаемости естественных антител системы ABO у доноров Сургута..... 110

Е.В. Замина, Н.И. Ивонина, А.А. Фокин, И.М. Роцевская

Реполаризация желудочков сердца у практически здоровых молодых мужчин
при кратковременном воздействии нормобарической изокапнической
и гиперкапнической гипоксии 123

*А.А. Казаченко, А.Н. Кучмин, Е.П. Галова, А.В. Танич, И.М. Борисов,
М.И. Музыкин, В.А. Бурлетова, М.А. Будковая, С.Ю. Тытюк*

Распространённость симптомов тревоги и депрессии, их взаимосвязь
с качеством сна у пациентов с артериальной гипертензией 135

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco678873>

EDN: QRUPRI

Влияние компонентов солнечной радиации на парциальную плотность кислорода приземного слоя воздуха в субарктическом и субтропическом регионах

О.Н. Рагозин¹, Л. Мутэло², Е.Ю. Шаламова¹, А.Б. Гудков³, И.А. Погонышева⁴,
Э.Р. Рагозина¹, Д.А. Погонышев⁴

¹ Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, Россия;

² Университет Лимпопо, Полокване, Южно-Африканская Республика;

³ Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Россия;

⁴ Нижневартковский государственный университет, Нижневартковск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Солнечная радиация состоит из электромагнитного излучения и солнечного ветра. Она имеет нелинейный характер во время вспышек, когда наблюдается усиление волнового излучения и выброс мощных потоков заряженных частиц. Увеличение интенсивности солнечной радиации изменяет световой и тепловой баланс Земли, геомагнитную активность, влияет на погоду и кислородный статус.

Цель. Оценить влияние компонентов солнечной радиации на динамику парциальной плотности кислорода в субарктическом и субтропическом регионах в зависимости от уровня солнечной активности.

Материалы и методы. Сведения о числе солнечных пятен получены из материалов Королевской обсерватории Бельгии. Для оценки уровня солнечной радиации, планетарного магнитного индекса (Ap) и локального индекса геомагнитной активности (K) использовали данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации. Значения парциальной плотности кислорода определяли расчётным методом с учётом температуры, атмосферного давления и относительной влажности воздуха. Сравнивали данные 2007 г. (низкая солнечная активность) и 2001 г. (высокая солнечная активность). Для математической обработки применяли вейвлет-анализ.

Результаты. Мезор, амплитуда и автокорреляция солнечной радиации на Севере в 2001 г. не отличаются от данных, зарегистрированных в 2007 г. В субтропиках мезор и амплитуда солнечной радиации значимо выше, но автокорреляция снижена, что свидетельствует о нарушении структуры временного ряда. Величина коэффициента синхронизации демонстрирует заметную взаимосвязь солнечной радиации и парциальной плотности кислорода в год активного и спокойного Солнца на Севере и слабую синхронизацию в субтропиках в год с низкой солнечной активностью. Синхронизация индексов Ap и K в Полокване растёт при повышении солнечной активности от очень слабой до средней; величина коэффициента синхронизации Ap и парциальной плотности кислорода и K и парциальной плотности кислорода указывает на очень слабую взаимосвязь магнитных индексов и парциальной плотности кислорода вне зависимости от солнечной активности. В Ханты-Мансийске синхронизация между индексами Ap и K остаётся слабой, величина коэффициента синхронизации Ap и парциальной плотности кислорода незначимо растёт с повышением солнечной активности, а синхронизация K и парциальной плотности кислорода с ростом солнечной активности снижается со слабой до очень слабой.

Заключение. В обоих географических регионах в год спокойного Солнца выявлена значимая взаимосвязь колебаний солнечной радиации и парциальной плотности кислорода. В субтропиках рост солнечной активности характеризуется снижением взаимосвязи солнечной радиации и парциальной плотности кислорода. Статистически значимая синхронизация колебаний парциальной плотности кислорода и планетарной и локальной магнитной активности колеблется от слабой до очень слабой вне зависимости от уровня солнечной активности и географической широты.

Ключевые слова: экстремальные погодные условия; солнечная активность; геомагнитная активность; кислород; Север; субтропики.

Как цитировать:

Рагозин О.Н., Мутэло Л., Шаламова Е.Ю., Гудков А.Б., Погонышева И.А., Рагозина Э.Р., Погонышев Д.А. Влияние компонентов солнечной радиации на парциальную плотность кислорода приземного слоя воздуха в субарктическом и субтропическом регионах // Экология человека. 2025. Т. 32, № 2. С. 80–89. DOI: 10.17816/humeco678873 EDN: QRUPRI

Рукопись поступила: 24.04.2025

Рукопись одобрена: 20.05.2025

Опубликована online: 17.06.2025

The Effect of Solar Radiation Components on the Partial Density of Surface Air Oxygen in Subarctic and Subtropical Regions

Oleg N. Ragozin¹, Livhuwani Muthelo², Elena Yu. Shalamova¹, Andrei B. Gudkov³,
Irina A. Pogonysheva⁴, Elina R. Ragozina¹, Denis A. Pogonyshch⁴

¹ Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;

² University of Limpopo, Polokwane, South Africa;

³ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

⁴ Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Solar radiation consists of electromagnetic radiation and the solar wind. It becomes nonlinear during solar flares, with increased wave radiation and the emission of large amounts of charged particles. Increased solar radiation intensity alters the Earth's light and thermal balance and geomagnetic activity, affecting both weather and oxygen status.

AIM: To assess the effect of solar radiation components on changes in partial oxygen density in subarctic and subtropical regions, depending on the level of solar activity.

METHODS: Sunspot data were obtained from the Royal Observatory of Belgium. Solar radiation levels, the planetary magnetic index (Ap), and the local geomagnetic activity index (K) were assessed using data from the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information. Partial oxygen density was calculated based on air temperature, atmospheric pressure, and relative air humidity. Data from 2007 (low solar activity) and 2001 (high solar activity) were compared. Wavelet analysis was used for mathematical processing.

RESULTS: In the North, the mesor, amplitude, and autocorrelation of solar radiation in 2001 did not differ from those recorded in 2007. In subtropical regions, the mesor and amplitude of solar radiation were significantly higher, whereas autocorrelation was lower, indicating a disruption of time series. The synchronization coefficient demonstrated a strong correlation between solar radiation and partial oxygen density in both high and low solar activity years in the North, and a weak synchronization in the subtropics during the year of low solar activity. Synchronization of the Ap and K indices in Polokwane increased as solar activity rose from very low to moderate. The synchronization coefficients for Ap and partial oxygen density, as well as K and partial oxygen density, indicated a very weak correlation between magnetic indices and partial oxygen density, regardless of solar activity. In Khanty-Mansiysk, synchronization between the Ap and K indices remained weak. The synchronization coefficient for Ap and partial oxygen density showed a non-significant increase with rising solar activity, whereas synchronization between K and partial oxygen density decreased from weak to very weak as solar activity increased.

CONCLUSION: During the year of low solar activity, both geographic regions showed a significant correlation between solar radiation fluctuations and partial oxygen density. In subtropical regions, increasing solar activity was associated with a weaker correlation between solar radiation and partial oxygen density. Significant synchronization between fluctuations in partial oxygen density and planetary or local magnetic activity ranged from weak to very weak, regardless of solar activity levels or geographic latitude.

Keywords: extreme weather conditions; solar activity; geomagnetic activity; oxygen; North; subtropics.

To cite this article:

Ragozin ON, Muthelo L, Shalamova EYu, Gudkov AB, Pogonysheva IA, Ragozina ER, Pogonyshch DA. The effect of solar radiation components on the partial density of surface air oxygen in subarctic and subtropical regions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):80–89. DOI: 10.17816/humeco678873
EDN: QRUPRI

太阳辐射成分对亚北极和亚热带地区近地空气层氧密度的影响

Oleg N. Ragozin¹, Livhuwani Muthelo², Elena Yu. Shalamova¹, Andrei B. Gudkov³,
Irina A. Pogonysheva⁴, Elina R. Ragozina¹, Denis A. Pogonyshev⁴

¹ Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia;

² University of Limpopo, Polokwane, South Africa;

³ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

⁴ Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia

摘要

证。太阳辐射由电磁辐射和太阳风组成。在太阳耀斑期间，其表现出非线性特征，伴有电磁波辐射增强以及大量带电粒子的释放。太阳辐射强度的增加会改变地球的光热平衡和地磁活动，进而影响天气状况和氧气状态。

目的。根据太阳活动水平，评估太阳辐射不同成分对亚北极和亚热带地区氧密度动态变化的影响。

材料与方法。关于太阳黑子数的数据来自Royal Observatory of Belgium公开发布的资料。太阳辐射强度、行星磁指数（ A_p ）和局部地磁活动指数（ K ）的数据取自All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information。氧密度根据温度、大气压和相对湿度计算得出。比较了2007年（太阳活动低年）与2001年（太阳活动高年）的数据。数学分析采用小波分析法。

结果。在2001年北方地区，太阳辐射的平均值、振幅和自相关性与2007年无显著差异。而在亚热带地区，其平均值和振幅明显较高，自相关性降低，表明时间序列结构受到扰动。同步系数的数值显示，在太阳活动活跃年和太阳活动平静年，北方地区的太阳辐射与氧密度之间存在显著相关性，而在太阳活动较低的年份，亚热带地区则表现出较弱的同步性。在Polokwane，随着太阳活动水平从极低升高至中等， A_p 指数与 K 指数的同步性增强；然而， A_p 与氧密度、 K 与氧密度之间的同步系数显示，无论太阳活动水平如何，这些地磁指数与氧密度之间的相关性始终极弱。在Khanty-Mansiysk， A_p 指数与 K 指数之间的同步性仍然较弱；随着太阳活动增强， A_p 与氧密度之间的同步系数略有上升，而 K 与氧密度之间的同步性则从弱下降至极弱。

结论。在两个地理区域的太阳平静年，太阳辐射与氧密度的波动之间表现出显著的相关性。在亚热带地区，太阳活动增强时，太阳辐射与氧密度之间的相关性减弱。不论太阳活动水平或地理纬度如何，氧密度与行星磁活动和局部磁活动之间的统计学显著同步性均处于由弱至极弱的范围。

关键词：极端气象条件；太阳活动；地磁活动；氧气；北方；亚热带。

引用本文：

Ragozin ON, Muthelo L, Shalamova EYu, Gudkov AB, Pogonysheva IA, Ragozina ER, Pogonyshev DA. 太阳辐射成分对亚北极和亚热带地区近地空气层氧密度的影响. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):80–89. DOI: 10.17816/humeco678873 EDN: QRUPRI

ОБОСНОВАНИЕ

Солнечная радиация состоит из электромагнитного излучения во всём его спектральном диапазоне [1] и солнечного ветра — слабого потока электронов, протонов, ядер гелия, представляющего радиальное истечение плазмы солнечной короны в межпланетное пространство [2], имеющего нелинейный, нестационарный и нелокальный характер [3].

Во время солнечных вспышек наблюдается усиление волнового солнечного излучения на разных частотах, из солнечной атмосферы выбрасываются в межпланетное пространство потоки электронов, протонов, ядер гелия, энергия и скорость которых намного больше, чем у частиц солнечного ветра. Фотоны от вспышки достигают Земли примерно за 8,5 мин, далее в течение нескольких десятков минут до земной поверхности доходят мощные потоки заряженных частиц, а облака плазмы от солнечной вспышки достигают нашей планеты только через двое суток [4]. Увеличение интенсивности электромагнитного излучения и скорости потоков заряженных частиц изменяет световой и тепловой баланс, геомагнитную активность, влияет на погоду, кислородный статус и состояние биосферы [5], что и определяет актуальность исследования.

Цель исследования. Оценить влияние компонентов солнечной радиации на динамику парциальной плотности кислорода (ППК) в субарктическом и субтропическом регионах в зависимости от уровня солнечной активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассмотренные в исследовании города характеризуются разными климатическими особенностями: Ханты-Мансийск — Российская Федерация, субарктический регион с резко-континентальным климатом, Полокване — ЮАР, субтропический регион с умеренными изменениями фотопериода и стабильным климатом круглый год. Такой выбор позволил сравнить влияние региональных климатических различий на динамику компонентов солнечной радиации, геомагнитных индексов и ППК в разные периоды солнечной активности.

Ханты-Мансийск — столица Ханты-Мансийского автономного округа — Югры; координаты 61° с.ш. 69° в.д. Климат резко-континентальный. В течение года наблюдаются выраженные изменения фотопериода: минимальная продолжительность светового дня отмечена 22 декабря и достигает 5 ч 32 мин, летом во время белых ночей светлое время суток составляет 19 ч 17 мин¹.

Полокване — административный центр муниципалитета Полокване, района имени Тропика

Козерога и провинции Лимпопо (ЮАР); координаты 23° ю.ш. 29° в.д. Лето с большим количеством осадков в Лимпопо продолжается с ноября по март (~5 мес.). Зима длится с июня по август (~3 мес.), осадки практически не выпадают. В провинции обильное солнечное освещение в течение всего года, особенно зимой. Сезонные вариации фотопериода незначительны, в пределах 3 ч (световой день 22 июня — 10 ч 39 мин, 22 декабря — 13 ч 36 мин)².

Данные об относительном ежедневном числе солнечных пятен (число Вольфа — W) получены из общедоступных материалов Королевской обсерватории Бельгии (Брюссель)³. Сравнивали 2007 г. как один из наиболее спокойных периодов 23-го цикла солнечной активности (среднемесячный сглаженный минимум W составляет 2,2) и 2001 г. — год активного Солнца (W — 180,3). Для оценки годовой динамики уровня солнечной радиации ($Вт/м^2$), планетарного магнитного индекса (A_p , нТл), локального индекса геомагнитной активности (K , баллы) использовали материалы Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных⁴.

Для расчёта ППК ($г/м^3$), или весового содержания кислорода, использовали ежедневные среднесуточные значения температуры окружающего воздуха (T , $^\circ C$), атмосферного давления (P , мм рт. ст.) и относительной влажности (ϕ , %). ППК прямо пропорциональна атмосферному давлению за вычетом парциального давления водяного пара и обратно пропорциональна температуре воздуха: $ППК = 83 \times (P - \phi) / T$. Наблюдается прямая корреляция ППК с парциальным давлением кислорода во вдыхаемом и альвеолярном воздухе.

Для оценки временных рядов применяли вейвлет-анализ, который идентифицирует устойчивые циклические составляющие, отражающие долгосрочные глобальные явления, исключая кратковременные или местные события⁵. По результатам вейвлетного преобразования можно судить, как меняется спектральный состав временного ряда со временем. Определяли средний уровень показателя (мезор, $M \pm m$), амплитуду ритма (эквивалент энергии; A , усл. ед.), периоды постоянных и вставочных (квантованных) ритмов (сут), коэффициент синхронизации (r_s , усл. ед.) анализируемых временных рядов. Статистическую значимость ритмов оценивали путём многократной (5000) случайной перестановки уровней исходного временного ряда. Приведённая p показывает долю случаев, когда

² Green Book: Adapting South African Settlements to Climate Change. Режим доступа: <https://greenbook.co.za> Дата обращения: 17.03.2025.

³ WDC-SILSO. Royal Observatory of Belgium, Brussels. Режим доступа: <http://www.sidc.be/silso/datafiles> Дата обращения: 17.03.2025.

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных. Режим доступа: <http://meteo.ru> Дата обращения: 17.03.2025.

⁵ Программа исследования биологических ритмов методом вейвлет-анализа. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611398 от 03.02.2014.

¹ Ханты-Мансийский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Режим доступа: <http://www.ugrameteo.ru> Дата обращения: 17.03.2025.

энергия выделенной частотной составляющей в исходном ряду превышала соответствующую энергию в случайной перестановке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Среднегодовой уровень (мезор), амплитуда ритма и автокорреляция солнечной радиации в Ханты-Мансийске в год активного Солнца (2001 г.) составляют соответственно: $217,61 \pm 9,10$ Вт/м² / 77 517,92 усл. ед. / 0,84 и практически не отличаются от данных, зарегистрированных в год спокойного Солнца 23-го цикла солнечной активности (2007 г.): $217,14 \pm 9,47$ Вт/м² / 79 784,86 / 0,84 (здесь и далее: мезор / амплитуда / автокорреляция; рис. 1). Спектр постоянных и вставочных ритмов в 2001 г. следующий: 291,1 / 47,62 / 0,001; 147,6 / 1,56 / 0,007; 105,1 / 1,04 / 0,019; 66,8 / 1,04 / 0,012. Ритмическая структура солнечной радиации в 2007 г. немногим отличается от года активного Солнца: 291,1 /

37,3 / 0,001; 105,1 / 3,09 / 0,001; 66,8 / 2,07 / 0,001 (здесь и далее при описании ритмов: период (сут) / амплитуда / значимость).

В субтропическом регионе (Полокване) мезор и амплитуда солнечной радиации в анализируемые годы значительно различаются ($p=0,038$): 2001 г. — $756,42 \pm 14,84$ Вт/м² / 652238,79 усл. ед.; 2007 г. — $854,42 \pm 13,48$ Вт/м² / 796216,60 усл. ед. (рис. 2). Обращают на себя внимание и низкие значения коэффициента автокорреляции (2001 г. — 0,32; 2007 г. — 0,49) в сравнении с северным регионом, что свидетельствует о нарушении структуры временного ряда и присутствии в нём короткопериодных составляющих.

В сравнении с северным регионом в Полокване наблюдается полиритмия за счёт короткопериодных низкоамплитудных составляющих: 2001 г. — 291,1 / 6,15 / 0,001; 66,8 / 1,26 / 0,006; 19,2 / 1,18 / 0,001; 117,7 / 1,13 / 0,013; 53,3 / 1,07 / 0,010; 27,0 / 1,60 / 0,028; 18,0 / 0,66 / 0,060; 2007 г. — 291,1 / 9,92 / 0,001; 59,7 / 1,54 / 0,001;

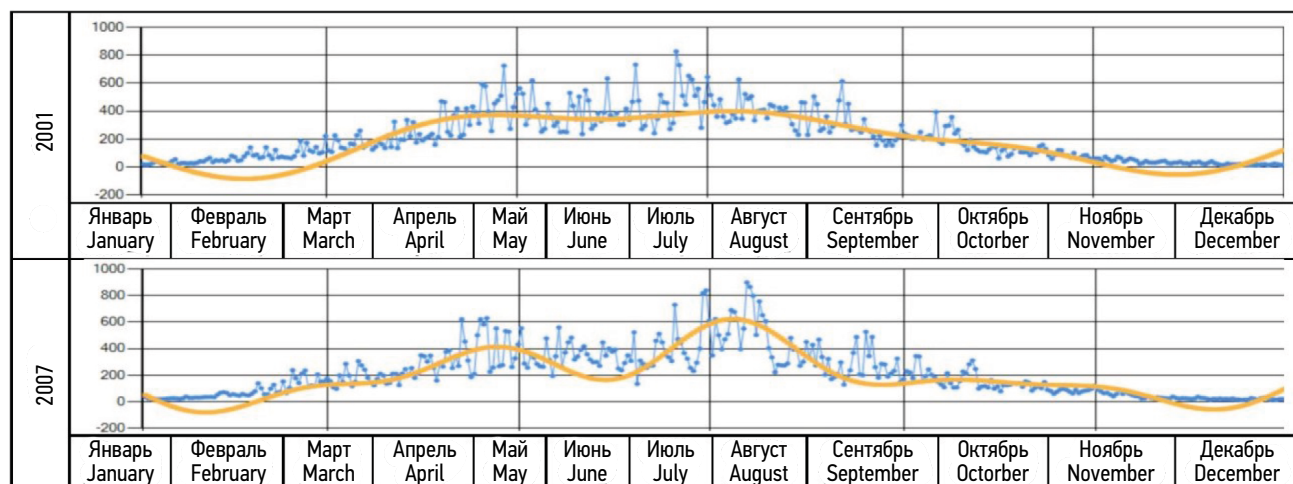


Рис. 1. Окологодовая динамика солнечной радиации в Ханты-Мансийске в 2001 и 2007 гг.: ось абсцисс — месяцы; ось ординат — величина солнечной радиации (Вт/м²).

Fig. 1. Circannual changes in solar radiation in Khanty-Mansiysk in 2001 and 2007: X-axis, months; Y-axis, solar radiation intensity (W/m²).

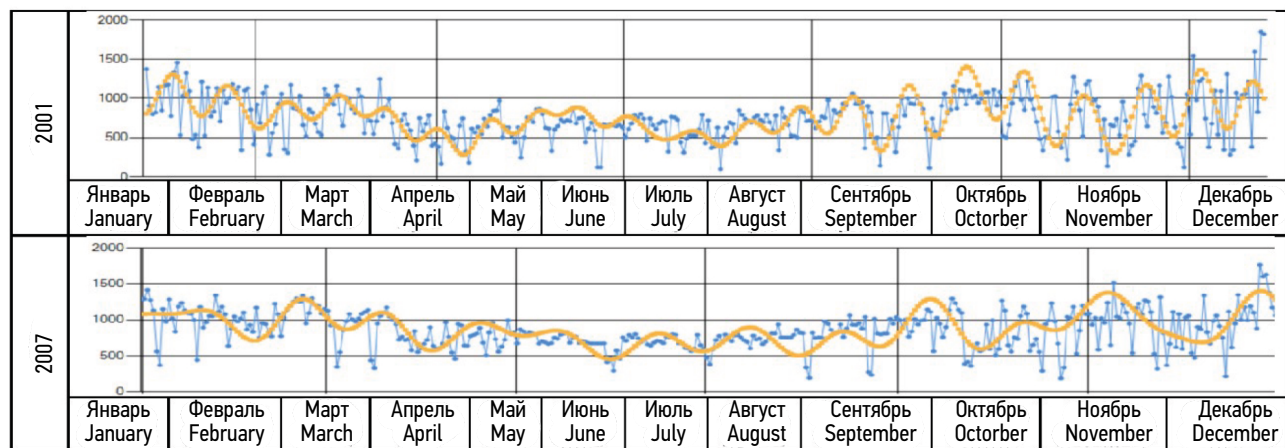


Рис. 2. Окологодовая динамика солнечной радиации в Полокване в 2001 и 2007 гг.: ось абсцисс — месяцы; ось ординат — величина солнечной радиации (Вт/м²).

Fig. 2. Circannual changes in solar radiation in Polokwane in 2001 and 2007: X-axis, months; Y-axis, solar radiation intensity (W/m²).

Таблица 1. Коэффициент синхронизации околородовых вариаций числа солнечных пятен (W), солнечной радиации (CP) и парциальной плотности кислорода (ППК) в Ханты-Мансийске и Полокване в годы активного (2001 г.) и спокойного (2007 г.) Солнца

Table 1. Synchronization coefficient of circannual variations in sunspot number (W), solar radiation (SR), and partial oxygen density (POD) in Khanty-Mansiysk and Polokwane during years of high (2001) and low (2007) solar activity

Город City	Год Year	W/ППК W/POD	W/CP W/SR	ППК/CP POD/SR
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk	2001	0,034	0,088	0,587
	2007	0,027	0,049	0,603
Полокване Polokwane	2001	0,062	0,069	0,029
	2007	0,037	0,022	0,279

105,1 / 1,19 / 0,010; 30,3 / 0,82 / 0,002; 10,9 / 0,79 / 0,059; 19,2 / 0,66 / 0,054 (см. рис. 2).

Поскольку предметом исследования является влияние гелиогеофизических факторов на ППК, был вычислен rs околородовых вариаций числа солнечных пятен (W), солнечной радиации и ППК в субарктическом и субтропическом регионах в годы активного и спокойного Солнца (табл. 1).

Динамика rs в субарктическом регионе указывает на среднюю или заметную взаимосвязь солнечной радиации и ППК как в год активного, так и спокойного Солнца и слабую синхронизацию (десинхронизацию) солнечной радиации и ППК в субтропиках в год с низкой солнечной активностью (см. табл. 1).

Чтобы объяснить взаимосвязи динамики ППК в регионах с асимметричным и паритетным годовым фото-периодом, необходимо выявить влияние невозмущённых вариаций солнечного ветра и нерегулярных солнечных вспышек, эффекты которых можно оценить по изменениям индексов геомагнитной активности.

Околородовой индекс Ар, величина которого является эквивалентной среднесуточной планетарной амплитуде возмущения магнитного поля Земли, в год спокойного Солнца (2007 г.) имеет мезор 7,48±0,33 нТл, амплитуду — 95,70 усл. ед., коэффициент автокорреляции — 0,56. Циклическая структура состоит из трёх ритмов: 27,0 сут /

4,08 усл. ед. / 0,001; 13,7 сут / 1,43 усл. ед. / 0,001 и 8,7 сут / 1,04 усл. ед. / 0,001 (здесь и далее при описании ритмов: период / амплитуда / значимость).

В год активного Солнца (2001 г.) мезор Ар увеличивается в 3 раза — 21,97±1,10, амплитуда возрастает на порядок — 923,44 усл. ед., автокорреляция уменьшается до 0,53 и наблюдается полиритмия (7 значимых ритмов вместо трёх при спокойном Солнце): 83,8 сут / 2,36 усл. ед. / 0,001; 165,3 сут / 2,0 усл. ед. / 0,001; 19,2 сут / 1,5 усл. ед. / 0,001; 13,7 сут / 1,17 усл. ед. / 0,002; 37,9 сут / 0,86 усл. ед. / 0,032; 30,3 сут / 0,81 усл. ед. / 0,034; 7,8 сут / 0,80 усл. ед. / 0,017 (рис. 3).

Околородовые колебания локального индекса К в год спокойного Солнца (2007 г.) в субарктическом регионе имеют мезор 3,24±0,04 балла, амплитуду — 11,13 усл. ед., коэффициент автокорреляции — 0,56. Циклическая структура состоит из трёх значимых ритмов (259,9 сут / 12,41 усл. ед. / 0,001; 27,0 сут / 3,95 усл. ед. / 0,001; 8,7 сут / 0,93 усл. ед. / 0,001) и двух ритмов с выраженной тенденцией к значимости — 66,8 сут / 0,57 усл. ед. / 0,069 и 13,7 сут / 0,57 усл. ед. / 0,079 (здесь, как и ранее, при описании ритмов: период / амплитуда / значимость). В год активного Солнца (2001 г.) мезор индекса К составляет 4,12±0,05 балла, амплитуда — 17,80 усл. ед., автокорреляция — 0,51. Как и в отношении Ар, наблюдается полиритмия (5 значимых ритмов вместо трёх при спокойном Солнце),

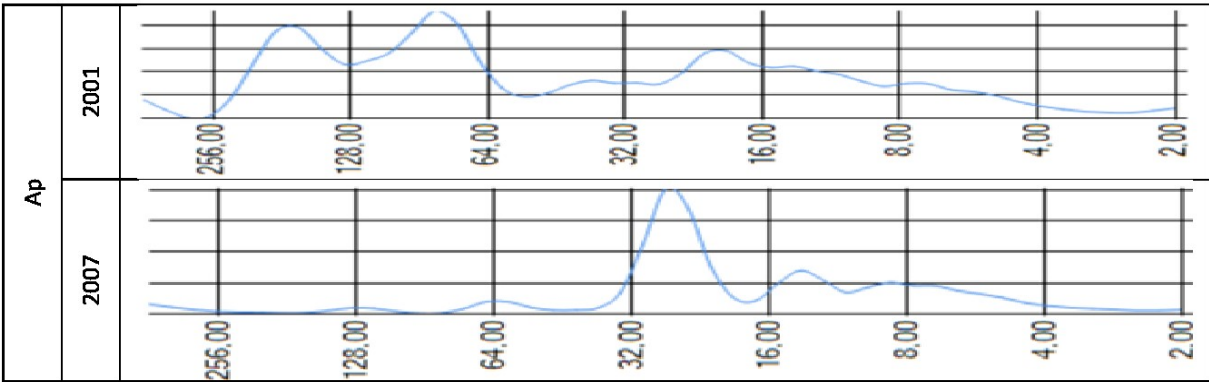


Рис. 3. Околородовые ритмы общепланетарного магнитного индекса Ар в годы активного (2001) и спокойного (2007) Солнца: ось абсцисс — амплитуда ритмов (усл. ед.); ось ординат — периоды ритмов (сут).

Fig. 3. Circannual rhythms of the planetary magnetic index Ap in years of high (2001) and low (2007) solar activity: X-axis, rhythm amplitude (conventional units); Y-axis, rhythm periods (days).

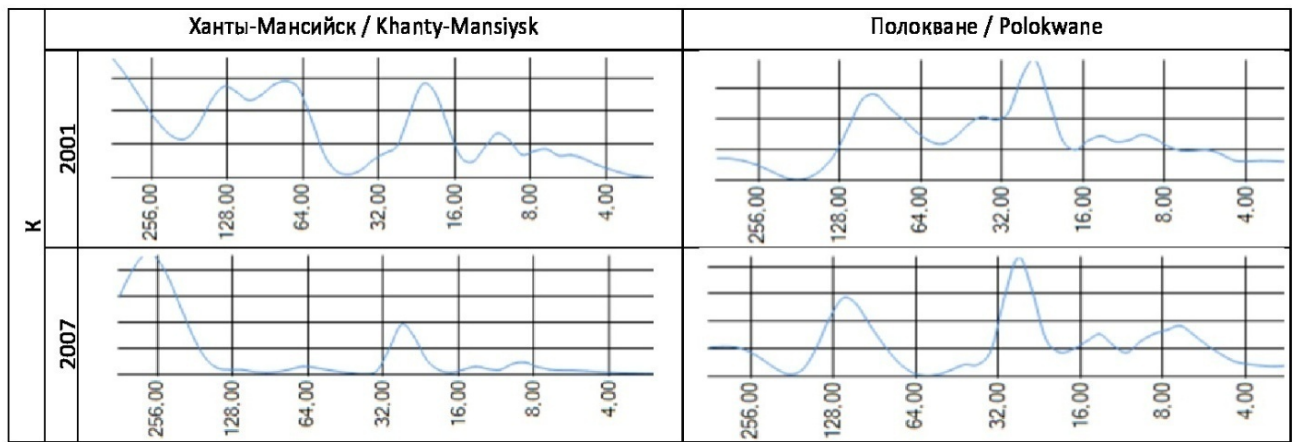


Рис. 4. Окологодовые ритмы локального геомагнитного индекса К в Ханты-Мансийске и Полокване в годы активного (2001 г.) и спокойного (2007 г.) Солнца: ось абсцисс — амплитуда ритмов (усл. ед.); ось ординат — периоды ритмов (сут).

Fig. 4. Circannual rhythms of the local geomagnetic index K in Khanty-Mansiysk and Polokwane in years of high (2001) and low (2007) solar activity: X-axis, rhythm amplitude (conventional units); Y-axis, rhythm periods (days).

но с другими периодами и уровнем значимости: 66,8 сут / 2,28 усл. ед. / 0,001; 93,8 сут / 1,9 усл. ед. / 0,002; 21,5 сут / 1,6 усл. ед. / 0,001; 13,7 сут / 0,78 усл. ед. / 0,001; 6,9 сут / 0,68 усл. ед. / 0,015 (рис. 4).

В Южном полушарии среднегодовой уровень индекса К в 2007 г. составил $4,11 \pm 0,04$ балла с амплитудой 17,54 усл. ед. при коэффициенте автокорреляции 0,33. Спектр ритмов следующий: 27,0 сут / 2,26 усл. ед. / 0,001; 117 сут / 1,52 усл. ед. / 0,002; 6,9 сут / 1,01 усл. ед. / 0,001; 13,7 сут / 0,85 усл. ед. / 0,004; 325,9 сут / 0,53 усл. ед. / 0,019 (см. рис. 4). В год высокой солнечной активности (2001 г.) мезор индекса К, его амплитуда и коэффициент автокорреляции временного ряда незначимо отличается от уровня 2007 г.: $4,79 \pm 0,05$ балла / 23,72 усл. ед. / 0,28. Спектр представлен пятью значимыми ритмами и одним с высокой тенденцией к значимости: 24,1 сут / 1,99 усл. ед. / 0,001; 93,8 сут / 1,43 усл. ед. / 0,005; 37,9 сут / 1,07 усл. ед. / 0,005; 9,8 сут / 0,78 усл. ед. / 0,003; 13,7 сут / 0,75 усл. ед. / 0,002; 5,5 сут / 0,53 усл. ед. / 0,087.

Результаты показывают значительное отличие средних уровней солнечной радиации в Ханты-Мансийске и Полокване, демонстрируя чёткую зависимость от широты местности и уровня инсоляции. Для поиска возможных взаимосвязей между изменениями корпускулярного компонента солнечной радиации, проявляющихся колебаниями магнитных индексов, и ППК вейвлет-анализом оценена синхронизация исследуемых показателей (Ар, индекс К и ППК) в годы активного и спокойного Солнца в субарктическом и субтропическом климатических поясах с расчётом r_s (табл. 2).

Синхронизация Ар и К в Полокване растёт при повышении солнечной активности от очень слабой (0,234) до средней (0,510), но величина r_s Ар/ППК и К/ППК, хотя и обнаруживает тенденцию к увеличению, указывает на очень слабую взаимосвязь магнитных индексов и ППК вне зависимости от солнечной активности.

В Ханты-Мансийске синхронизация индексов Ар и К в сравниваемые годы солнечного цикла остаётся

Таблица 2. Значения коэффициента синхронизации (r_s) локального геомагнитного индекса (К), планетарного индекса магнитной активности (Ар), парциальной плотности кислорода (ППК) в Ханты-Мансийске и Полокване в годы активного (2001 г.) и спокойного (2007 г.) Солнца

Table 2. Synchronization coefficient (r_s) values for the local geomagnetic index (K), planetary magnetic activity index (Ap), and partial oxygen density (POD) in Khanty-Mansiysk and Polokwane during years of high (2001) and low (2007) solar activity

r_s	2001			2007		
	К	Ар	ППК POD	К	Ар	ППК POD
Полокване Polokwane						
К	1,000	0,510	0,126	1,000	0,234	0,097
Ар	0,510	1,000	0,089	0,234	1,000	0,037
POD	0,126	0,089	1,000	0,097	0,037	1,000
Ханты-Мансийск Khanty-Mansiysk						
К	1,000	0,207	0,103	1,000	0,108	0,280
Ар	0,207	1,000	0,092	0,108	1,000	0,027
ППК POD	0,103	0,092	1,000	0,280	0,027	1,000

слабой (2007 г. — 0,108; 2001 г. — 0,207); величина r_s Ар и ППК незначимо растёт с повышением солнечной активности (2007 г. — 0,027; 2001 г. — 0,092), а синхронизация К и ППК с ростом солнечной активности снижается с 0,280 в 2007 г. до 0,103 в 2001 г.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение динамики солнечной радиации имеет большое практическое значение для прогнозирования космических и земных климатических процессов, явлений в земной атмосфере и состояния биосферы, так как Солнце является основным источником энергии, определяющим радиационный и тепловой баланс Земли. Приход солнечной радиации к поверхности Земли зависит от таких факторов, как географические координаты, сезон года и время суток, состояние атмосферы и рельеф местности [6]. Вариации приходящей к Земле лучистой энергии также зависят от флуктуаций активности Солнца и небесно-механических процессов, связанных с изменением элементов земной орбиты [7].

Влияние асимметричного и паритетного фотопериодов как проявление широтных географических различий в нашем исследовании обнаруживается в форме развития мезорного и частотного (полиритмия) десинхроноза годовых колебаний солнечной радиации при высоком уровне солнечной активности [8].

Анализ синхронизации солнечной радиации с ППК показывает средний уровень взаимосвязи этих показателей в северном регионе в годы как спокойного, так и активного Солнца, что может свидетельствовать о возможном влиянии солнечного ветра на уровень и вариации геомагнитной активности.

В субтропическом регионе взаимосвязь солнечной радиации и ППК проявляется в меньшей степени и только в год спокойного Солнца.

Влияние на организм человека геомагнитных возмущений привлекает внимание мировой научной общности достаточно давно. В этом аспекте изучали вариабельность ритма сердца человека и животных [9], динамику артериального давления [10, 11], изменения поведения экспериментальных животных [12, 13]. Достаточно много публикаций о нарушении циркадианных ритмов и обмена мелатонина при геомагнитных возмущениях [14, 15].

Чтобы избежать замечаний методического характера при исследовании биотропного влияния магнитной активности [16], в нашем исследовании оценивали взаимосвязь динамики Ар и К и ППК как интегрального показателя, влияющего на биосферу. В субарктической зоне использованы значения К, полученные в Новосибирской магнитной обсерватории «Ключи», координаты — 55°N, 82°E, расстояние до Ханты-Мансийска — 1051 км; в субтропическом климатическом поясе Южного полушария использованы данные обсерватории «Херманус» (ЮАР),

координаты — 34°S, 19°E, расстояние до Полокване — 1567 км.

Обращает на себя внимание совпадение периодов некоторых ритмов как показателя солнечной радиации и опосредованного влияния солнечной активности в виде изменения геомагнитных индексов. Если рассуждать с точки зрения концепции «универсального спектра солнечной системы», то солнечная ритмичность представляет собой подстройку организма под гармоник солнечных суток годового и суточного циклов Земли [17]. Это подтверждается наличием ритмов колебаний солнечной радиации и магнитных индексов с периодами 165,3 сут, 90,3 сут, 30,3 сут и 27,0 сут. Ритм синодического периода вращения Солнца (26,24 сут) присутствует в вариациях исследуемых магнитных индексов (Ар, К) в год спокойного Солнца как в северном регионе, так и в субтропиках Южного полушария, а в спектре ритмов солнечной радиации 27-суточный вставочный ритм обнаруживается в обоих географических регионах исследования только в год активного Солнца.

В качестве возможных механизмов воздействия магнитных полей на живые организмы предлагаются «радоновая» теория, согласно которой геомагнитные бури могут вызывать деформацию горных пород, сопровождающуюся увеличением содержания радона в приземном слое атмосферы, что приводит к различным биологическим эффектам [18], «резонансная» теория В.В. Леднева [19], «циркадная» гипотеза [20, 21].

В проведённом исследовании при повышении солнечной активности колебания Ар характеризуются развитием мезорного, гиперамплитудного и частотного десинхроноза, растёт синхронизация временного ряда Ар и К, особенно в субэкваториальной зоне. В сравниваемых географических точках взаимосвязи Ар с ППК отсутствуют при разном уровне солнечной активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствие выраженных зимне-летних колебаний освещённости и температурного режима в северном регионе с асимметричным фотопериодом наблюдается заметная синхронизация солнечной радиации и ППК в годы спокойного и активного Солнца. В субтропическом регионе синхронизация солнечной радиации и ППК снижается в год активного Солнца из-за качественной перестройки временного ряда колебаний солнечной радиации по типу полиритмии (частотный десинхроноз).

Величина и колебания Ар закономерно растут в год активного Солнца и соответствуют картине мезорного и гиперамплитудного десинхроноза. В сравниваемых пространственных и временных точках полностью отсутствует синхронизация данного показателя с ППК.

Количественные характеристики (мезор и амплитуда) околোগодового цикла К в годы с различной активностью Солнца в субтропиках и субарктическом регионе

отличаются незначимо. В год активного Солнца синхронизация К и ППК в субтропиках имеет тенденцию к простоту, а в субарктическом регионе наблюдается снижение взаимосвязи этих показателей.

Обращает на себя внимание совпадение периодов некоторых ритмов показателя солнечной радиации и геомагнитных индексов. Ритм синодического периода вращения Солнца (26,24 сут) присутствует в вариациях исследуемых магнитных индексов (Ap, K) в год спокойного Солнца как в северном регионе, так и в субтропиках Южного полушария, а в спектре ритмов солнечной радиации 27-суточный вставочный ритм наблюдается только в год активного Солнца в обоих географических регионах исследования.

В обоих географических регионах в год спокойного Солнца выявлена значимая взаимосвязь колебаний солнечной радиации и ППК. Рост солнечной активности характеризуется снижением взаимосвязи солнечной радиации и кислородного статуса в субтропическом регионе. Статистически значимая синхронизация околোগодовых колебаний ППК в приземном слое воздуха и планетарной и локальной магнитной активности варьирует от слабой до очень слабой, независимо от солнечной активности и географической широты.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.Н. Рагозин — существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, редактирование и окончательное утверждение рукописи; Л. Мутело — анализ данных; Е.Ю. Шаламова — подготовка первого варианта статьи; А.Б. Гудков — редактирование первого варианта статьи; И.А. Погонышева — анализ данных; Э.Р. Рагозина — набор первичного материала; Д.А. Погонышев — анализ данных. 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).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия» (заключение № 214 от 15.10.2024).

Источники финансирования. Отсутствуют.

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

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

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: O.N. Ragozin: conceptualization, methodology, writing—review & editing; L. Muthelo, I.A. Pogonysheva, D.A. Pogonyshv: formal analysis; E.Yu. Shalamova: writing—original draft; A.B. Gudkov: writing—review & editing; E.R. Ragozina: investigation. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Khanty-Mansiysk State Medical Academy (Approval No. 214 of October 15, 2024).

Funding sources: No funding.

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

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

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Fedorov VM, Sokratov SA, Frolov DM. The tendencies of change of the incoming solar radiation to the upper atmosphere boundary and their spatial localization. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2019;(5):50–58. doi: 10.31857/S0205-96142019550-58 EDN: NFQKZC
2. Russell CT. The solar wind and magnetospheric dynamics. In: Page DE, editor. *Correlated Interplanetary and Magnetospheric Observations. Astrophysics and Space Science Library*. Springer, Dordrecht; 1974;42. doi: 10.1007/978-94-010-2172-2_1
3. Veselovsky IS, Kaportseva KB, Lukashenko AT. Hydrodynamic classification of solar wind flows. *Astronomicheskii vestnik. Issledovaniya Solnechnoi Sistemy*. 2019;53(1):61–73. doi: 10.1134/S0320930X19010080 EDN: YWYHGH
4. Vladimirovsky BM, Temuryants NA, Martynyuk VS. Space weather and our life. Moscow: DMK-Press; 2022. 224 p. ISBN: 978-5-89818-203-8
5. Datieva FS, Volkov AV, editors. *Heliogeophysical factors in chronopathophysiology and clinical medicine*. Vladikavkaz; Tula: IBMI VSC RAS; 2023. 490 p. ISBN: 978-5-00081-596-0
6. Berlyand TG. Distribution of solar radiation on the continents. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1961. 227 p.
7. Fedorov VM, Frolov DM. Spatial and temporal variability of solar radiation arriving at the top of the atmosphere. *Kosmicheskie Issledovaniya*. 2019;57(3):177–184. doi: 10.1134/S002342061903004X
8. Ragozin ON, Tatarintsev PB, Pogonysheva IA, et al. Corrections for geographical differences in photoperiod in time-series analysis. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(2):139–149. doi: 10.17816/humeco117532 EDN: VVYOJA
9. Bokeria LA, Bokeria OL, Volkovskaya IV. Cardiac rhythm variability: methods of measurement, interpretation, clinical use. *Annals of Arrhythmology*. 2009;6(4):21–32. EDN: KYGRHZ
10. Azcaratea T, Mendoza B, Levi JR. Influence of geomagnetic activity and atmospheric pressure on human arterial pressure during the solar cycle 24. *Adv Space Res*. 2016;58(10):2116–2125. doi: 10.1016/j.asr.2016.05.048

11. Cornelissen G, Halberg F, Sothorn RB, et al. Blood pressure, heart rate and melatonin cycles synchronization with the season, earth magnetism and solar flares. *Scr Med (Brno)*. 2010;83(1):16–32.
12. Persinger MA, McKay BE, O'Donovan CA, et al. Sudden death in epileptic rats exposed to nocturnal magnetic fields that simulate the shape and the intensity of sudden changes in geomagnetic activity: an experiment in response to Schnabel, Beblo and May. *Int J Biometeorol*. 2005;49(4):256–261. doi: 10.1007/s00484-004-0234-2
13. Kowalski U, Wiltshko R, Fuller E. Normal fluctuations of the geomagnetic field may affect initial orientation in pigeons. *J Comp Physiol*. 1988;163:593–600. doi: 10.1007/bf00603843
14. Rapoport SI, Malinovskaya NK, Vetterberg L, et al. Melatonin production in patients with hypertension during magnetic storms. *Therapeutic Archive*. 2001;73(12):29–33. (In Russ.)
15. Welker HA, Semm P, Willig RP, Commentz JC, Wiltshko W, Vollrath L. Effects of an artificial magnetic field on serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland. *Exp Brain Res*. 1983;50(2-3):426–432. doi: 10.1007/BF00239209
16. Krylov VV. Biological effects of geomagnetic activity: observations, experiments and possible mechanisms. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2018;(84):7–38. doi: 10.24411/0320-3557-2018-10016 EDN: VPYJDM
17. Vasilyeva NI. The problem of correlation of human biorhythms and solar activity in light of the concept of the "universal spectrum" of the solar system. *Izvestiya TRTU*. 2000;(4):36–37. (In Russ.) EDN: KUSMIB
18. Shemy-Zade AE. Transformation of the impulse of solar-geomagnetic activity into disturbances of the radon and aeroion fields of the planet. *Biophysics*. 1992;37(4):690–699. (In Russ.)
19. Lednev VV. Biological effects of extremely weak variable magnetic fields: identification of primary targets. In: *Modeling of geophysical processes*. Moscow: IPE RAS; 2003. P. 130–136. (In Russ.) EDN: ZTTRXB
20. Chibisov SM. Cosmos and biosphere: the influence of magnetic storms on the chronostructure of biological rhythms. *RUDN Journal of Medicine*. 2006;(3):35–44. EDN: IJNGFD
21. Borisenkov MF. Influence of the earth's magnetic field on the daily dynamics of the total antioxidant activity of human saliva in the North. *Advances in Gerontology*. 2007;20(4):56–60. EDN: IUDXEL

ОБ АВТОРАХ

*** Погonyшева Ирина Александровна**, канд. биол. наук, доцент;
адрес: Россия, 628611, Нижневартовск, ул. Дзержинского,
д. 11, каб. 301;
ORCID: 0000-0002-5759-0270;
eLibrary SPIN: 6095-8392;
e-mail: severina.i@bk.ru

Рагозин Олег Николаевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-5318-9623;
eLibrary SPIN: 7132-3844;
e-mail: oragozin@mail.ru

Мутэлло Ливувани, PhD, старший преподаватель;
Researcher ID: AHC-1001-2022;
e-mail: livhuwani.muthelo@ul.ac.za

Шаламова Елена Юрьевна, д-р биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-5201-4496;
eLibrary SPIN: 8125-9359;
e-mail: selenzik@mail.ru

Гудков Андрей Борисович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0001-5923-0941;
eLibrary SPIN: 4369-3372;
e-mail: gudkovab@nsmu.ru

Рагозина Элина Разифовна;
ORCID: 0000-0003-0199-2948;
eLibrary SPIN: 7335-7635;
e-mail: elinka1000@yandex.ru

Погonyшев Денис Александрович, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0001-8815-1556;
eLibrary SPIN: 1179-9674;
e-mail: d.pogonyshv@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Irina A. Pogonysheva**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
address: 11 Dzerzhinsky st, ofc 301, Nizhnevartovsk, Russia,
628611;
ORCID: 0000-0002-5759-0270;
eLibrary SPIN: 6095-8392;
e-mail: severina.i@bk.ru

Oleg N. Ragozin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-5318-9623;
eLibrary SPIN: 7132-3844;
e-mail: oragozin@mail.ru

Livhuwani Muthelo, PhD, Senior Lecturer;
Researcher ID: AHC-1001-2022;
e-mail: livhuwani.muthelo@ul.ac.za

Elena Yu. Shalamova, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-5201-4496;
eLibrary SPIN: 8125-9359;
e-mail: selenzik@mail.ru

Andrei B. Gudkov, MD, Dr.Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0001-5923-0941;
eLibrary SPIN: 4369-3372;
e-mail: gudkovab@nsmu.ru

Elina R. Ragozina;
ORCID: 0000-0003-0199-2948;
eLibrary SPIN: 7335-7635;
e-mail: elinka1000@yandex.ru

Denis A. Pogonyshv, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor;
ORCID: 0000-0001-8815-1556;
eLibrary SPIN: 1179-9674;
e-mail: d.pogonyshv@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Роль комнатных растений в изменении качества воздушной среды в помещениях дошкольных образовательных организаций

Н.Ф. Чуенко¹, И.И. Новикова¹, М.А. Лобкис¹, С.П. Романенко¹,
О.А. Савченко¹, В.А. Ширинский², Ж.В. Гудинова²

¹ Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены, Новосибирск, Россия;

² Омский государственный медицинский университет, Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В современных условиях на здоровье детей большое значение оказывает качество воздушной среды. Период обучения в дошкольных образовательных организациях значительно влияет на здоровье детей, которое зависит от соответствия условий воспитания и обучения санитарно-эпидемиологическим нормам и установленным гигиеническим стандартам. Анализируя отечественные и зарубежные научные исследования, можно отметить, что низкое качество воздуха, микроклимата, комфорта в помещениях с присутствием диоксида углерода оказывает неблагоприятное воздействие на функциональное состояние детей. Это является одной из причин низкой трудоспособности и мозговой деятельности, а также приводит к снижению иммунитета, значительно повышая риски заболеваемости детей. Важно отметить, что уровень углекислого газа (CO₂) по-прежнему остаётся ненормируемым показателем и представляет собой фактор риска в учреждениях, где находятся дети как временно, так и постоянно.

Цель. Оценка использования комнатных растений для повышения качества воздуха в закрытых помещениях дошкольных образовательных организаций.

Материалы и методы. Мониторинг микроклиматических показателей и качества воздушной среды осуществлялся в двух игровых помещениях детского сада комбинированного вида «Радуга». В групповых ячейках разместили определённый вид комнатных растений, являющихся безопасными и безвредными для детей и обладающих доказанной антимикробной активностью с санирующими и газопоглотительными свойствами. В группах наблюдения и контроля был установлен прибор EClerk-Eco-RHTC (Новосибирск, Россия), предназначенный для непрерывного измерения, контроля и регулирования важнейших для здоровья человека параметров воздушной среды (температуры, относительной влажности воздуха, концентрации в воздухе CO₂) и сигнализирующий о выходе любого показателя за установленные пределы.

Результаты. Исследование по оценке качества воздуха в детском организованном коллективе «Радуга» показало, что применение рекомендованных комнатных растений в помещениях с длительным пребыванием детей способствует статистически достоверному снижению содержания углекислого газа в воздухе помещения группы наблюдения по отношению к значениям в группе контроля в 1,3 (тест Краскела–Уоллиса, $p < 0,05$) и 1,2 (тест Краскела–Уоллиса, $p < 0,05$) раза соответственно при размещении растений с площадью листового аппарата 1,7 и 2,5 м² на площади помещения 48 м².

Заключение. Эффективность повышения качества воздуха в игровых помещениях дошкольных образовательных организаций зависит от площади листовой поверхности рекомендуемых растений и их рационального распределения с учётом эффективного радиуса воздействия. Использование комнатных растений с комплексом фитонцидных, газопоглотительных и транспирирующих свойств способствует улучшению качества воздуха и снижению уровня концентрации CO₂ в закрытых помещениях дошкольных образовательных организаций.

Ключевые слова: закрытые помещения; дошкольные образовательные организации; дети; углекислый газ; использование комнатных растений; повышение качества воздуха; оценка эффективности.

Как цитировать:

Чуенко Н.Ф., Новикова И.И., Лобкис М.А., Романенко С.П., Савченко О.А., Ширинский В.А., Гудинова Ж.В. Роль комнатных растений в изменении качества воздушной среды в помещениях дошкольных образовательных организаций // Экология человека. 2025. Т. 32, № 2. С. 90–99.

DOI: 10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

The Effect of Indoor Plants on Indoor Air Quality in Child Care Centers

Natalia F. Chuenko¹, Irina I. Novikova¹, Maria A. Lobkis¹, Sergey P. Romanenko¹,
Oleg A. Savchenko¹, Vladimir A. Shirinskii², Zhanna V. Gudinova²

¹ Novosibirsk Scientific Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia;

² Omsk State Medical University, Omsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In the modern settings, air quality is critical to children's health. Preschool education has a significant impact on children's health, which is determined by child care centers' compliance with sanitary and epidemiological regulations and established hygienic standards. According to Russian and international studies, low air quality, poor microclimate, and reduced comfort in indoor environments caused by carbon dioxide have a negative impact on children's functional status. This reduces functional capacity and cognitive performance while also compromising the immune system, which significantly increases the risk of morbidity in children. Notably, there are currently no standards for carbon dioxide (CO₂) levels; as a result, it is a risk factor in institutions where children are housed both temporarily and regularly.

AIM: To evaluate the use of indoor plants to improve indoor air quality in child care centers.

METHODS: Microclimatic indicators and air quality were monitored in two playrooms of the Raduga combined-type kindergarten. A specific type of indoor plants was used; the selected plants were safe and harmless to children, with proven antibacterial, air-sanitizing, and gas-absorbing properties. ECLerk-Eco-RHTC devices (Novosibirsk, Russia) were installed in the observation and control groups to continuously measure, monitor, and regulate air parameters essential for human health (temperature, relative humidity, CO₂ concentration), alerting users when any value exceeded preset thresholds.

RESULTS: The air quality study in the Raduga kindergarten showed that the recommended indoor plants in rooms where children stay for extended periods provided a significant decrease in carbon dioxide levels in the observation group compared to the control group: by 1.3-fold (Kruskal–Wallis test, $p < 0.05$) and 1.2-fold (Kruskal–Wallis test, $p < 0.05$), respectively, when plants with leaf surface areas of 1.7 m² and 2.5 m² were placed in a 48 m² room.

CONCLUSION: The effectiveness of improving air quality in playrooms of child care centers depends on the leaf surface area of the recommended plants and their rational distribution, taking into account the effective radius of impact. Indoor plants with a combination of phytoncidal, gas-absorbing, and transpiring properties improve indoor air quality and reduce CO₂ concentrations in child care centers.

Keywords: indoor air; child care centers; children; carbon dioxide; indoor plant use; air quality improvement; efficacy assessment.

To cite this article:

Chuenko NF, Novikova II, Lobkis MA, Romanenko SP, Savchenko OA, Shirinskii VA, Gudinova ZhV. The effect of indoor plants on indoor air quality in child care centers. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):90–99. DOI: 10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

室内植物在改善学前教育机构室内空气质量中的作用

Natalia F. Chuenko¹, Irina I. Novikova¹, Maria A. Lobkis¹, Sergey P. Romanenko¹,
Oleg A. Savchenko¹, Vladimir A. Shirinskii², Zhanna V. Gudinova²

¹ Novosibirsk Scientific Research Institute of Hygiene, Novosibirsk, Russia;

² Omsk State Medical University, Omsk, Russia

摘要

论证。在当前条件下，空气环境质量对儿童健康具有重要影响。学龄前教育机构的教育阶段对儿童健康产生显著作用，其状态取决于养育与教学环境是否符合卫生防疫规范及既定的卫生标准。分析俄罗斯和国外的科学研究结果表明，室内空气质量不良、微气候条件欠佳以及二氧化碳的存在，会对儿童的功能状态产生不利影响。这是导致儿童劳动能力下降、脑功能减退以及免疫力降低，从而显著增加其患病风险的原因之一。值得注意的是，二氧化碳（CO₂）浓度目前仍未被纳入规范指标，然而它在儿童临时或长期停留的机构中构成了潜在风险因素。

目的。评估在学前教育机构封闭室内环境中使用室内植物以提升空气质量的效果。

材料与方法。在“Raduga”综合型幼儿园的两个游戏活动室内开展了微气候参数和空气质量的监测工作。在实验组教室内摆放了特定种类的室内植物，这些植物对儿童安全无害，且具有经证实的抗菌活性，并具备净化和气体吸附功能。实验组与对照组均配备了EClerk-Eco-RHTC（俄罗斯新西伯利亚）多功能监测仪，用于持续测量、控制和调节空气中对健康至关重要的参数（温度、相对湿度及CO₂浓度），并在超出设定范围时提供警报提示。

结果。在“Raduga”幼儿园开展的室内空气质量评估研究表明，在儿童长期停留的教室内配置推荐的室内植物，在叶面积分别为1.7 和2.5 m²、教室面积为48 m²的条件下，与对照组相比，观察组室内空气中的CO₂浓度分别降低了1.3倍（Kruskal-Wallis检验， $p < 0.05$ ）和1.2倍（Kruskal-Wallis检验， $p < 0.05$ ），差异具有统计学意义。

结论。提升学前教育机构游戏室空气质量的有效性，取决于所推荐植物的叶面积大小及其在空间中的合理分布，并应考虑其有效作用半径。具有挥发性抑菌、气体吸附和蒸腾功能的室内植物，有助于改善学前教育机构封闭空间内的空气质量，并降低CO₂浓度。

关键词：封闭空间；学前教育机构；儿童；二氧化碳；室内植物利用；空气质量改善；效果评估。

引用本文：

Chuenko NF, Novikova II, Lobkis MA, Romanenko SP, Savchenko OA, Shirinskii VA, Gudinova ZhV. 室内植物在改善学前教育机构室内空气质量中的作用. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):90–99. DOI: 10.17816/humeco646321 EDN: PNUENT

ОБОСНОВАНИЕ

Ключевым аспектом благополучия и процветания государства является укрепление здоровья детей дошкольного и школьного возраста. В настоящее время исследование состояния здоровья детского населения и факторов, влияющих на него, остаётся важной задачей, требующей особого внимания и контроля. В этом контексте особое значение имеют условия обучения и воспитания детей в дошкольных образовательных организациях (ДОО) [1].

Период дошкольного обучения оказывает значительное влияние на формирование психического и физического здоровья учащихся, которое зависит от соблюдения образовательных условий и гигиенических стандартов. Неблагоприятные факторы окружающей среды снижают иммунитет у ребёнка, что может привести к негативным последствиям как для психического, так и для физического здоровья. Именно поэтому контроль и оздоровление параметров воздушной среды, включая прежде всего физические и химические факторы, являются одной из ключевых задач для создания благоприятных условий в образовательных организациях. Особое внимание следует уделить качеству воздуха, которым дышат дети в течение дня: показатель концентрации диоксида углерода в диапазоне от 300 до 400 ppm считается эталонным воздухом для детей; от 400 до 600 ppm предлагается для детей школьного возраста; при 600 ppm и выше проявляются жалобы на плохое самочувствие, усталость, снижение работоспособности и концентрации внимания. В течение дня диоксида углерода, как правило, накапливается в помещении. По сведениям медицинских работников, у детей с высокой концентрацией диоксида углерода часто наблюдаются тяжёлое дыхание, одышка, сухой кашель и ринит. Рост концентрации диоксида углерода в помещении приводит к возникновению приступов астмы у детей-астматиков. Из-за повышения концентрации диоксида углерода в помещении увеличивается число пропусков посещения ДОО по болезни. Респираторные инфекции и астма являются основными заболеваниями в дошкольных учреждениях.

В состав воздуха входит смесь газов (азота, кислорода, аргона, углекислого газа), водяных паров и других компонентов. Кислород для человека является основой жизни и составляет 20,9% воздуха. При снижении уровня кислорода у человека проявляются признаки гипоксии (кислородного голодания), иногда это может привести к летальному исходу. Это происходит в плохо проветриваемых и вентилируемых закрытых помещениях.

Диоксид углерода, газ без цвета и запаха, аккумулируется в нижнем слое замкнутого пространства. Первоисточником диоксида углерода является человек [2]. Именно поэтому возникает вопрос о нормировании диоксида углерода в учебных организациях. Недостаточное проветривание и плохая система вентиляции не позволяют достигать оптимальных параметров микроклимата в течение

дня. Например, для качественного проветривания помещений требуется более двух часов, в дошкольных организациях выполнять это не представляется возможным, тем более по СанПиНу проветривание помещения запрещено в присутствии детей. С появлением современных строительных и отделочных материалов снижается качество воздуха. Экологические деревянные окна заменили на герметичные, воздухонепроницаемые окна из пластика, поэтому в помещении образуется спёртый воздух. В связи с этим большую актуальность приобретает контроль за состоянием воздуха в закрытых помещениях [3].

В Германии и других странах Европейского союза до настоящего времени нет нормативно-правовых актов по урегулированию параметров микроклимата. Согласно стандарту DIN 1946, часть 2, предположительным гигиеническим нормативом считается содержание диоксида углерода в помещении 1500 миллионных долей [3, 4]. В государствах Северной Европы нормы диоксида углерода составляют от 1000 до 1200 миллионных долей. Согласно директиве TRGS 900 об опасных веществах, допустимая концентрация диоксида углерода для рабочей зоны составляет 5000 миллионных долей. Избыток диоксида углерода в воздухе закрытых помещений мешает сосредоточиться и справиться с учебной нагрузкой. В одном из исследований показано, что большую часть времени дети проводят вне дома, а именно в учебном заведении, время учебного дня составляет до 9 ч, при этом показатель CO_2 в воздухе варьирует в диапазоне от 1300 до 2500 миллионных долей [3]. При таком состоянии воздушной среды снижаются сосредоточенность, усидчивость и восприятие школьного материала. В США образовательным организациям рекомендуется поддерживать параметр диоксида углерода на уровне не выше 600 миллионных долей. На территории Российской Федерации приемлемым показателем содержания диоксида углерода в воздухе закрытых помещений считается значение 800 миллионных долей [3, 5].

Следует подчеркнуть, что конструирование вентиляционной системы базируется на установленных нормах воздухообмена. В России минимальным воздухообменным показателем считается $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ (в европейских государствах — $72 \text{ м}^3/\text{ч}$), он не зависит от параметров помещения, а только от вентилирования. В результате концентрация диоксида углерода в воздухе может достигать до 1000 миллионных долей, а во время физической нагрузки переходить за верхние границы нормы. Следовательно, норматив воздухообмена в $30 \text{ м}^3/\text{ч}$, принятый в России, не гарантирует благоприятного микроклимата в помещении [3, 6].

Вопрос об улучшении воздушной среды в закрытых помещениях общеобразовательных учреждений обусловлен ростом случаев астмы и респираторных заболеваний среди детей, которые проводят значительную часть своей жизни в школьных помещениях, а также результатами исследований, подтверждающих взаимосвязь параметров

качества воздуха в помещениях общеобразовательных и дошкольных учреждений и наличия заболеваний, о чём свидетельствует ряд опубликованных работ зарубежных авторов. Взаимосвязь количественного содержания углекислого газа в воздухе образовательных учреждений с потенциальными последствиями для здоровья детей и подростков была обнаружена по результатам некоторых исследований [7–9].

Ранее частые респираторные заболевания связывали только с количественным содержанием углекислого газа в воздухе помещений, что в дальнейшем привело к разработке нормативной базы для школьной среды, которая определяет максимальный уровень концентрации CO_2 и минимальные скорости воздушного потока. Например, по результатам исследования Simoni et al. [10] обнаружено, что у школьников, подвергшихся воздействию уровней CO_2 более 1000 частей на миллион, значительно выше риск сухого кашля (OR: 2,99; 95% CI: 1,65–5,44) и ринита (OR: 2,07; 95% CI: 1,14–3,73). Также есть данные, напрямую доказывающие, что одним из факторов развития ринита у школьников является наличие источников формальдегида [11].

Другие исследования были посвящены оценке качества воздуха в школьных помещениях.

При исследовании параметров воздуха в школах и детских садах наблюдали географические различия между севером и югом Европы с точки зрения воздействия стресса на здоровье в образовательных организациях внутри помещений. Например, уровни загрязнения в греческих образовательных организациях показывают среднее значение 5,33 мкг/м³ (3,1–7,8 мкг/м³) бензола и 16,55 мкг/м³ (13,8–20,2 мкг/м³) формальдегида. Те же химические соединения показывают средние значения в голландских образовательных организациях: 1,42 мкг/м³ (0,8–3,0 мкг/м³) бензола и 13,93 мкг/м³ (6,1–22,4 мкг/м³) формальдегида. Обнаружено, что уровень летучих органических соединений в помещении и уровень биоаэрозоля в школах и детских садах выше, чем в других рабочих помещениях. Внутренние концентрации атмосферных альдегидов (формальдегид, ацетальдегид, пропионовый альдегид и бензальдегид) имеют более высокие значения в помещениях по сравнению с их концентрациями в атмосферном воздухе. Предполагается, что внутренние источники являются более важными факторами, влияющими на уровень загрязнения помещений, чем наружные источники, такие как выхлопные газы автомобиля. Более высокие концентрации крупнозернистых частиц наблюдаются при более высоких температурах воздуха в помещении и концентрации CO_2 , при этом концентрации мелких частиц положительно коррелируют с относительной влажностью воздуха в помещении. В шумных местах, где расположены образовательные организации, как правило, закрывают окна, особенно во время занятий, что приводит к увеличению вероятности перегрева классных комнат в жаркую погоду и плохому качеству воздуха из-за отсутствия достаточной вентиляции.

В последние годы во многих странах в школах создаётся «зелёная архитектура» с целью гармонизации отношений человека и окружающей среды. Создание «зелёных школ» является чрезвычайно перспективным процессом, направленным не только на формирование дополнительных экологических городских пространств, но и на сохранение здоровья человека. Архитектурная среда и дизайн подобных школ оказывают положительное влияние на состояние здоровья учащихся, улучшают психофизический комфорт, способствуют развитию творческого и интеллектуального потенциала. Установлено, что озеленённая территория в жилой застройке положительно воздействует на душевное состояние человека, при этом снижает уровень раздражительности в кратчайшее время, с последующим снижением риска развития депрессивных симптомов в подростковом возрасте.

В последние десятилетия использованию комнатных растений в качестве средств очистки воздуха уделяется большое внимание. Испытания эффективности комнатных растений в качестве очистителя воздуха, впервые проведённые НАСА, показали, что растения обладают способностью снижать уровень загрязняющих веществ в помещении [12]. Кроме того, растёт количество исследований по комнатным растениям путём тестирования способности конкретных видов к очистке воздуха в помещении. Было проведено несколько исследований, связанных с использованием комнатных растений и их влиянием на заболеваемость детей. Исследования показали значительное снижение содержания бензола в воздухе помещения, где использовались растения. S.H. Hong et al. [13] выявили способность растений рода фикус очищать воздух помещения путём снижения уровней таких летучих органических соединений, как бензол, этилбензол, ксилол, стирол, формальдегид, ацетальдегид и толуол. В исследовании уровни загрязняющих веществ оценивали до и после использования растений. В результате уровень летучих органических соединений в помещении значительно снизился.

Фиторемедиация (или биофильтрация) в качестве метода очистки атмосферного воздуха в последние десятилетия привлекает за рубежом большое внимание, вероятно, из-за её доступности и применимости, а также экологических, экономических и социальных выгод и способности достигать нулевого уровня выбросов [14]. Было доказано, что комфортный уровень проживания, продуктивность и умственное функционирование могут быть значительно улучшены, а также уменьшается восприятие боли, когда растения присутствуют в комнате или на рабочем месте [14]. При фиторемедиации растения с их родственными микроорганизмами способны извлекать загрязняющие вещества из атмосферного воздуха, а затем разлагать или детоксифицировать их с помощью различных механизмов. Доказано, что это экологически чистый и устойчивый процесс на основе деятельности

растений, позволяющий эффективно снижать загрязнение воздуха как в помещении, так и на открытом воздухе.

В Китае была исследована скорость поглощения формальдегида листьями и способность экстрактов листьев разрушать формальдегид. Результаты показали, что формальдегид может переноситься из воздуха через листья и корни в ризосферную воду. При воздействии 0,56 мг/м³ формальдегида скорость его удаления составляла от 18,64 до 38,47 мкг/ч. В соответствии с балансом масс в системе «воздух–растение–вода» основным механизмом потери формальдегида было его разрушение в тканях растений, вызванное как ферментативной, так и окислительно-восстановительной реакцией. Более высокие потенциалы окисления листьев экстрактов *Wedelia chinensis* и *Desmodium motorium* соответствовали более высоким способностям к расщеплению добавленного формальдегида, чем у других растений. Окислительно-восстановительный механизм предполагает, что удаление формальдегида может быть увеличено за счёт повышения уровня активных форм кислорода, вызванных стрессом у растений из-за параметров окружающей среды [15].

По итогам литературного обзора подтверждено следующее: комнатные растения обладают фитонцидной активностью, оказывают влияние на здоровье человека, находящегося в помещении, способствуют снижению содержания углекислого газа в воздухе закрытых помещений, выделяя кислород в процессе фотосинтеза, предотвращают снижение регламентированных показателей относительной влажности воздуха при активном использовании нагревательных приборов в зимний период года. Учёт положительного влияния растений, обладающих благоприятными свойствами, на воздушную среду свидетельствует о потребности размещать комнатные растения в образовательных учреждениях. Комнатные растения обеспечивают упорядоченные параметры микроклимата воздуха закрытых помещений.

Цель исследования. Оценка использования комнатных растений для повышения качества воздуха в закрытых помещениях ДОО.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализировав коллекцию ботанического сада, мы определили безопасные для здоровья детей виды растений, рекомендованные к применению в образовательных организациях. Одним из основных условий отбора являлось отсутствие ядовитых плодов, аллергизирующей активности и иголок.

В результате было установлено 10 видов растений, соответствующих данным условиям: *Chlorophytum comosum*, *Aspidistra elatior*, *Begonia ricinifolia*, *Hibiscus rosa sinensis*, *Kalanchoe blossfeldiana*, *Coleus blumei*, *Murraya exotica*, *Nephrolepis exaltata*, *Sansevieria trifasciata*, *Cyperus alternifolius*. У данных растений была определена

площадь листовой пластины и их биологические параметры (высота и ширина) [7–9].

В игровых помещениях площадью 48 м² разместили комнатные растения и установили устройство, которое позволяет измерить параметры микроклимата и концентрацию углекислого газа в режиме онлайн. Все значения фиксировали ежеминутно с передачей в электронную базу. Полученные значения усредняли. В ходе статистического анализа и обработки полученных результатов основывались на описательной статистике. Первоначально полученные показатели оценивали на нормальность распределения, используя критерии Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова. Дисперсионный анализ применяли для анализа средних величин, нескольких выборок. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) был установлен 0,001. Проверку равенства нескольких выборок проводили с помощью теста Краскела–Уоллиса (H-критерий).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В данном исследовании впервые изучено влияние растений на концентрацию диоксида углерода в дошкольных организациях в зависимости от площади листовой пластины (рис. 1).

Установлено, что содержание углекислого газа в воздухе помещения группы наблюдения достоверно ниже по отношению к значениям в группе контроля: соответственно в 1,3 (тест Краскела–Уоллиса, $p < 0,05$) и 1,2 (тест Краскела–Уоллиса, $p < 0,05$) раза при размещении растений с площадью листового аппарата 1,7 и 2,5 м² на площади помещения 48 м² (рис. 2).

Во время игровых занятий качество воздуха в групповых ячейках значительно ухудшается, о чём свидетельствует уровень содержания CO₂, измеряемый в разное время суток (08:00, 11:00, 14:00 и 17:00 ч).

Повышенный уровень диоксида углерода наблюдался во всех исследуемых группах в течение рабочего дня.

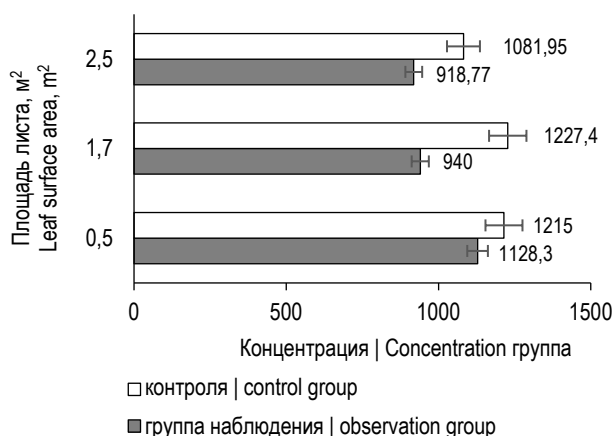


Рис. 1. Данные о содержании диоксида углерода в зависимости от площади листовой пластины.

Fig. 1. Carbon dioxide concentration depending on leaf surface area

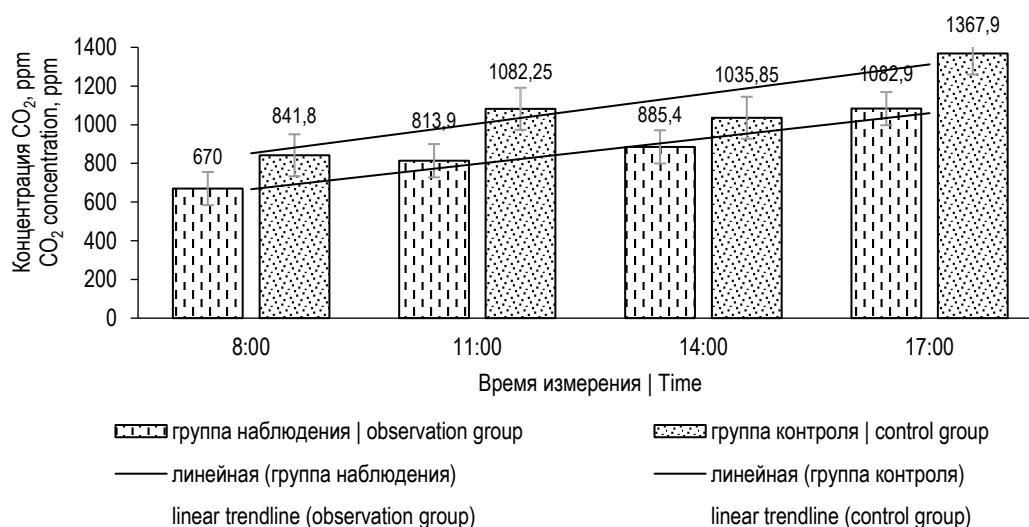


Рис. 2. Содержание углекислого газа в контрольных точках в исследуемых группах, ppm.

Fig. 2. Carbon dioxide concentrations at control points in the study groups, ppm

Тем не менее средние концентрации диоксида углерода (миллионная доля) в воздухе группы наблюдения были статистически значимо ниже по сравнению с группой, где растения отсутствовали, а в 11:00 и 17:00 ч различия имели статистически достоверный характер (тест Краскела–Уоллиса, $p < 0,05$).

Уровень диоксида углерода в группе с установленными комнатными растениями был в 1,3 раза ниже ($p < 0,001$) группы контроля, где растения отсутствовали, что согласуется с результатами соответствующих исследований [16, 17] и позволяет сделать вывод о необходимости контроля загрязнённости воздуха на предмет содержания диоксида углерода.

В качестве независимых переменных с учётом времени измерения, наличия растений, с поправкой на температуру и относительную влажность воздуха в помещении, дисперсионный анализ показал, что, несмотря на влияние этих факторов, содержание диоксида углерода уменьшается (по критерию Фишера, $p < 0,01$). Динамика снижения концентрации углекислого газа в игровом помещении с установленными растениями выражается следующей линейной регрессией: $y = 131,02x + 535,5$; $R^2 = 0,9697$; в группе, где отсутствуют растения: $y = 153,19x + 698,97$; $R^2 = 0,8288$.

Таким образом, размещение представленного перечня комнатных растений с ярко выраженными фитонцидными, транспирирующими и газопоглотительными свойствами способствовало стабильному снижению концентрации углекислого газа в игровых помещениях ДОО.

ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние комнатных растений на внутреннюю среду активно исследуют с 1989 г. Была предложена идея использования растений для удаления летучих органических соединений из воздуха закрытых помещений [18].

Сейчас существует множество исследований, посвящённых удалению летучих веществ из воздуха закрытых помещений с помощью горшечных растений. Полученные данные являются первой всеобъемлющей демонстрацией способности системы горшечных растений выступать в качестве интегрированного биофильтра при удалении этих загрязнений. Например, ботанический фильтр с *E. aureum* применялся для удаления $12,3 \pm 0,24$ мг/м³ формальдегида. Результат показал, что этот биофильтр имел эффективность удаления формальдегида 32–33% даже при высокой влажности воздуха (90%). F. Torpy et al. [19] показали 57% эффективность удаления метилэтилкетона с помощью вертикального ботанического биофильтра смешанного типа.

Наши исследования, проведённые непосредственно в игровых помещениях дошкольных учреждений, позволили выявить, какая оптимальная площадь листового аппарата комнатных растений потребуется для снижения содержания концентраций углекислого газа в игровых помещениях: на площадь помещения 48 м² — от 1,7 до 2,5 м².

Установлено, что концентрация CO₂ в воздухе снижается примерно на 35%; комнатные растения могут снизить концентрацию CO₂ в помещении и определить количество углерода, поглощаемого комнатными растениями; CO₂ не токсичен, но может оказывать наркотическое действие при более высокой концентрации [20]. Российские учёные обнаружили, что хлорофитумы обладают эффективностью поглощения, что согласуется с данными китайских исследователей о концентрации CO₂ от 635 до 650 ppm. Например, в помещении площадью 30 м² комнатное растение с площадью листа 3,1 м² снижало концентрацию CO₂ на 25,7–34,3% по сравнению с помещением, где отсутствовали растения. Результаты показали, что чем больше площадь листа, тем выше эффективность удаления CO₂, а качество воздуха в помещении будет продолжать

улучшаться с помощью комнатных растений [20].

Исследования, проведенные отечественными учёными в 2021 г., показали, что к концу учебного дня в холодное время года в помещениях спортивного вуза уровень диоксида углерода превышал допустимые нормы в 100% случаев. Авторы связывают это с недостаточной эффективностью работы вентиляционных систем [3, 5, 8–10]. Для решения данной проблемы необходимо разработать и спроектировать системы климатизации в зданиях, которые обеспечат комфортные и безопасные условия для учащихся в учебных помещениях [21].

Работы отечественных архитекторов, а также исследования учёных-гигиенистов подчеркивают важность создания критериев для оценки качества воздушной среды в закрытых помещениях. Мониторинг уровня CO₂ в помещениях поможет снизить риски его негативного воздействия на здоровье [22].

По данным литературных источников известно, что растения *Chlorophytum comosum*, *Aspidistra elatior*, *Begonia ricinifolia*, *Hibiscus rosa — sinensis*, *Kalanchoe blossfeldiana*, *Coleus blumei*, *Murraya exotica*, *Nephrolepis exaltata*, *Sansevieria trifasciata*, *Cyperus alternifolius* обладают фитонцидными, транспирирующими и газопоглощающими свойствами, являются гипоаллергенными и нетоксичными для детей. Данный ассортимент растений не требует особого ухода.

В ходе нашего исследования установлено, что фитонцидные, газопоглощающие и транспирирующие свойства растений оказывают положительное влияние на оптимизацию психоэмоционального состояния людей. Они способствуют снижению уровня углекислого газа в воздухе закрытых помещений и помогают предотвратить снижение установленных норм относительной влажности воздуха при активном использовании обогревательных приборов в зимнее время года. Это может рассматриваться как одна из мер профилактики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ источников литературы и результатов собственного исследования по оценке использования комнатных растений для повышения качества воздуха в закрытых помещениях ДОО показал, что использование рекомендованного ассортимента комнатных растений способствует обеспечению оптимальных параметров микроклимата и снижению содержания углекислого газа до допустимых параметров (800 ppm) в групповых помещениях. Кроме того, установлена оптимальная площадь листового аппарата, необходимая для обеспечения нормируемых величин относительной влажности воздуха (2,5 м²) и снижения концентрации углекислого газа (1,7 м²) при площади помещения 48 м². Использование рекомендованного ассортимента комнатных растений будет способствовать повышению качества воздуха, а также служить мерой профилактики

для снижения рисков заболеваемости детей в закрытых помещениях ДОО.

Таким образом, эффективность повышения качества воздуха в игровых помещениях ДОО зависит от площади листовой поверхности рекомендуемых растений и их рационального распределения с учётом эффективного радиуса воздействия. Использование комнатных растений с комплексом фитонцидных, газопоглощающих и транспирирующих свойств способствует улучшению качества воздуха и снижению уровня концентрации CO₂ в воздухе закрытых помещений ДОО.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.Ф. Чуенко — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, экспериментальные процедуры, анализ данных, написание текста и редактирование статьи; Ж.В. Гудина — анализ данных; И.И. Новикова, М.А. Лобкис, С. П. Романенко, О.А. Савченко, В.А. Ширинский — 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).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора (протокол № 2 от 29.04.2022).

Источники финансирования. Отсутствуют.

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

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

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: N.F. Chuenko: formal analysis, investigation, data curation, writing—original draft, writing—review & editing; Zh.V. Gudina: formal analysis; I.I. Novikova, M.A. Lobkis, S.P. Romanenko, O.A. Savchenko, V.A. Shirinskii: writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Novosibirsk Research Institute of Hygiene, Rosпотребнадзор (Protocol No. 2 of April 29, 2022).

Funding sources: No funding.

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

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

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing

does not apply to this work, as no new data was collected or created.

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

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited

and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Gritsina OP, Trankovskaya LV, Semaniv EV, Lisetskaya EA. Factors forming the health of modern children and adolescents. *Pacific Medical Journal*. 2020;(3):19–24. doi: 10.34215/1609-1175-2020-3-19-24 EDN: XHSVOV
2. Mikhaylichenko KYu, Nazarov VA, Kondrashova AS, Chizhov AY. Parameters of the school environment as a factor that affects the health of pupils. *RUDN Journal of Medicine*. 2010;(4):342–347. EDN: MWEGHN
3. Lobkis MA, Sarychev VV, Sorokina AV, Nazimkin NI. Hygienic significance of microclimate parameters and carbon dioxide content in providing a health-saving learning environment. In: *All-Russian Scientific and Practical Conference «Current issues of hygiene and prevention»*. Novosibirsk; 2024. P. 68–76. EDN: MUBVCP
4. Kuzina AD. On the issue of normalization of microclimate parameters in clean rooms. In: *International Scientific and Practical Conference «Modeling and analysis of complex technical and technological systems»*. Samara; 2018. P. 74–78. (In Russ.) EDN: YQTNZL
5. Gubernskiy YuD, Kalinina NV, Gaponova EB, Banin IM. Rationale for the permissible level of carbon dioxide in indoor air in residential and public buildings with the permanent human presence. *Hygiene and Sanitation*. 2014;93(6):37–41. EDN: TFANVV
6. Mansurov RSh, Gurin MA, Rubel EV. The effect of carbon dioxide concentration on the human body. *Universum: Tekhnicheskie Nauki*. 2017;(8):20–23. EDN: ZEFMXZ
7. Chuenko NF, Novikova II. Method of normalising the chemical composition and relative humidity of indoor air using indoor plants. *Journal of New Medical Technologies, Edition*. 2024;18(5):77–83. doi: 10.24412/2075-4094-2024-5-2-3 doi: 10.24412/2075-4094-2024-5-2-3
8. Chuenko NF, Novikova II, Lobkis MA, et al. Transpiring, phytoncidal and gas-absorbing properties of indoor plants and their role in improving the air quality in preschool environments. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(10):759–769. doi: 10.17816/humeco609574 EDN: LIVXQJ
9. Patent RUS № 2823058 / 17.07.24. Byul. №20. Novikova II, Chuenko NF, Lobkis MA, et al. *Method of improving air environment of closed rooms using transpiring and gas-absorbing properties of indoor plants*. Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_68602146_35238015.PDF (In Russ.) EDN: ULKSLX
10. Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, et al. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. *Eur Respir J*. 2010;35(4):742–749. doi: 10.1183/09031936.00016309
11. Molnar P, Bellander T, Sellsten G, Boman J. Indoor and outdoor concentrations of PM 2.5 trace elements at homes, preschools and schools in Stockholm, Sweden. *J Environ Monit*. 2007;9(4):348–357. doi: 10.1039/B616858B
12. Wolverton BC, McDonald RC, Watkins EA. Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes. *Econ Bot*. 1984;38:224–228. doi: 10.1007/BF02858837
13. Hong SH, Hong J, Yu J, Lim Y. Study of the removal difference in indoor particulate matter and volatile organic compounds through the application of plants. *Environ Health Toxicol*. 2017;32:e2017006. doi: 10.5620/eht.e2017006
14. Agarwal P, Sarkar M, Chakraborty B, Banerjee T. Phytoremediation of air pollutants: prospects and challenges. In *Phytomanagement of polluted sites*. Elsevier; 2019. P. 221–241. doi: 10.1016/B978-0-12-813912-7.00007-7
15. Su Y, Liang H, Zhao S, et al. Removal efficiency and mechanisms of formaldehyde by five species of plants in air-plant-water system. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2019;25(4):1059–1071. doi: 10.1080/10807039.2018.1474432
16. Han KT, Ruan LW, Liao LS. Effects of indoor plants on human functions: a systematic review with meta-analyses. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(12):7454. doi: 10.3390/ijerph19127454
17. Kim HH, Yeo IY, Lee JY. Higher attention capacity after improving indoor air quality by indoor plant placement in elementary school classrooms. *The Horticulture Journal*. 2020;89(3):319–327. doi: 10.2503/hortj.UTD-110
18. Wolverton BC, Douglas WL, Bounds K. *A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement*. NASA Technical documents; 1989. 300 p.
19. Torpy F, Clements N, Pollinger M, et al. Testing the single-pass VOC removal efficiency of an active green wall using methyl ethyl ketone (MEK). *Air Qual Atmos Health*. 2018;11(2):163–170. doi: 10.1007/s11869-017-0518-4
20. Aydogan A, Cerone R. Review of the effects of plants on indoor environments. *Indoor and Built Environment*. 2021;30(4):442–460. doi: 10.1177/1420326X19900213
21. Agafonova VV. Indoor air quality assessment in office buildings. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2019;(3):61–64. EDN: YYORVB
22. Volkova NG, Ceshkovskaja EYu. On the need to develop criteria for assessing the quality of the indoor environment, air quality, relative humidity and acoustic effects. In: *Fundamental, exploratory and applied research of the Russian academy of architecture and building sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019*. Moscow; 2020. P. 143–151. EDN: IPRKXD

ОБ АВТОРАХ

* **Чуенко Наталья Федоровна;**

адрес: Россия, 630108, Новосибирск, ул. Пархоменко, д. 7;

ORCID: 0000-0002-1961-3486;

eLibrary SPIN: 9709-3447;

e-mail: natali26.01.1983@yandex.ru

Новикова Ирина Игоревна, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0003-1105-471X;

eLibrary SPIN: 3773-2898;

e-mail: novikova_ii@niig.su

AUTHORS' INFO

* **Natalia F. Chuenko;**

address: 7 Parkhomenko st, Novosibirsk, Russia, 630108;

ORCID: 0000-0002-1961-3486;

eLibrary SPIN: 9709-3447;

e-mail: natali26.01.1983@yandex.ru

Irina I. Novikova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0003-1105-471X;

eLibrary SPIN: 3773-2898;

e-mail: novikova_ii@niig.su

Лобкис Мария Александровна;

ORCID: 0000-0002-8483-5229;

eLibrary SPIN: 4387-9425;

e-mail: lobkis_ma@niig.su

Романенко Сергей Павлович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-1375-0647;

eLibrary SPIN: 2107-5929;

e-mail: romanenko_sp@niig.su

Савченко Олег Андреевич, канд. биол. наук;

ORCID: 0000-0002-7110-7871;

eLibrary SPIN: 1029-6168;

e-mail: savchenko_oa@niig.su

Ширинский Владимир Александрович, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0009-0007-1929-2620;

eLibrary SPIN: 3487-6456;

e-mail: vash1007@mail.ru

Гудинова Жанна Владимировна, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-6869-6057;

eLibrary SPIN: 6178-8633;

e-mail: gud@list.ru

Maria A. Lobkis;

ORCID: 0000-0002-8483-5229;

eLibrary SPIN: 4387-9425;

e-mail: lobkis_ma@niig.su

Sergey P. Romanenko, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-1375-0647;

eLibrary SPIN: 2107-5929;

e-mail: romanenko_sp@niig.su

Oleg A. Savchenko, Cand. Sci. (Biology);

ORCID: 0000-0002-7110-7871;

eLibrary SPIN: 1029-6168;

e-mail: savchenko_oa@niig.su

Vladimir A. Shirinskii, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0009-0007-1929-2620;

eLibrary SPIN: 3487-6456;

e-mail: vash1007@mail.ru

Zhanna V. Gudanova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;

ORCID: 0000-0001-6869-6057;

eLibrary SPIN: 6178-8633;

e-mail: gud@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Quantitative Assessment of Traditional and Imported Meat Consumption by Indigenous and Local Caucasian Populations of the Modern Arctic

Fatima A. Bichkaeva, Ekaterina V. Nesterova, Olga S. Vlasova, Boris A. Shengof, Alexandra V. Strelkova, Nina F. Baranova, Tatyana B. Gretskaya

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

ABSTRACT

BACKGROUND: A healthy, balanced diet is essential for preserving metabolic health in high-latitude environments. Indigenous peoples' traditional lifestyles have shifted from nomadic to settled due to socioeconomic changes caused by industrial growth and urbanization in northern regions. This transition has affected dietary patterns and, consequently, metabolic health.

AIM: To conduct a comparative quantitative assessment of traditional and imported meat product consumption by indigenous and local Caucasian populations of the modern Arctic.

METHODS: During field expeditions to the Yamalo-Nenets and Nenets Autonomous Okrugs, 839 people's dietary habits were assessed using a questionnaire-based survey. Retrospective data were collected on the consumption of traditional and imported meat products over the preceding 12 months among both indigenous (nomadic and settled) and local Caucasian Arctic residents.

RESULTS: Indigenous populations consumed more traditional meat products, whereas local Caucasian populations consumed more imported meat, both lean and fatty. Among indigenous populations, nomadic people consumed significantly more traditional meat, whereas settled people consumed more fatty imported meat. There were no significant differences in processed meat consumption between the three groups.

CONCLUSION: The abundance of imported meat products in the diet, previously uncharacteristic of the Russian Arctic's indigenous peoples, has not completely replaced traditional cuisine. Among indigenous populations, nomadic people consume meat in ways that are more similar to traditional diets than their settled counterparts. However, retrospective data indicate a decline in the consumption of reindeer meat, a dietary staple among the Nenets. Therefore, to ensure a high quality of life and good health, indigenous populations of northern regions should stick to their centuries-old traditional dietary patterns, maintaining a high proportion of locally sourced foods.

Keywords: traditional diet; meat products; indigenous populations; Nenets; local Caucasian populations; Arctic.

To cite this article:

Bichkaeva FA, Nesterova EV, Vlasova OS, Shengof BA, Strelkova AV, Baranova NF, Gretskaya TB. Quantitative assessment of traditional and imported meat consumption by indigenous and local Caucasian populations of the modern Arctic. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):100–109.

DOI: 10.17816/humeco633042 EDN: SODBSJ

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco633042>

EDN: SODBSJ

Оценка количественного потребления традиционной и привозной мясной продукции среди аборигенного и европеоидного населения Арктики на современном этапе

Ф.А. Бичкаева, Е.В. Нестерова, О.С. Власова, Б.А. Шенгоф, А.В. Стрелкова,
Н.Ф. Баранова, Т.Б. Грецкая

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Важную роль в поддержании метаболического здоровья человека в условиях высоких широт имеет наличие полноценного и сбалансированного питания. Социально-экономические изменения, связанные с промышленным освоением и урбанизацией северных территорий, обусловили модификацию исторически сложившегося уклада жизни коренного населения при смене с традиционного кочевого образа жизни на оседлый в посёлках, что отразилось на рационе питания, и, как следствие, на метаболическом здоровье.

Цель. Сравнительный анализ количественного потребления традиционной и привозной мясной продукции среди аборигенного и местного европеоидного населения Арктики на современном этапе.

Материалы и методы. Во время экспедиционных выездов на территории Ямало-Ненецкого и Ненецкого автономных округов был изучен характер питания анкетно-опросным методом у 839 человек. Собрана ретроспективная информация о потреблении традиционной и привозной мясной продукции за предшествующий 12-месячный период у аборигенного (кочующего и оседлого) и местного европеоидного населения Арктики.

Результаты. Потребление традиционной мясной продукции выше среди аборигенов, а привозного мяса, как диетического, так и жирного, у местного европеоидного населения. При этом потребление традиционной мясной продукции значительно выше у кочующих аборигенов, по сравнению с оседлыми, а привозной жирной мясной продукции, наоборот, у оседлых. Потребление переработанного мяса мало различалось в трёх группах.

Заключение. Обилие привозной мясной продукции в рационе, ранее не характерной для коренных народов арктической зоны Российской Федерации, не до конца вытеснило традиционные блюда. При этом у аборигенного населения, ведущего кочевой образ жизни, потребление мясных продуктов ближе к традиционному типу питания в сравнении с оседлыми аборигенами. Но при этом потребление оленины — основы рациона ненцев — в ретроспективе снижается. Следовательно, для поддержания достойного уровня жизни и здоровья коренных жителей северных территорий им необходимо придерживаться традиционной выработанной веками модели питания с сохранением доли продуктов, произведённых в регионе проживания.

Ключевые слова: традиционная диета; мясная продукция; аборигены; ненцы; местное европеоидное население; Арктика.

Как цитировать:

Бичкаева Ф.А., Нестерова Е.В., Власова О.С., Шенгоф Б.А., Стрелкова А.В., Баранова Н.Ф., Грецкая Т.Б. Оценка количественного потребления традиционной и привозной мясной продукции среди аборигенного и европеоидного населения Арктики на современном этапе // Экология человека. 2025. Т. 32, № 2. С. 100–109. DOI: 10.17816/humeco633042 EDN: SODBSJ

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco633042>

EDN: SODBSJ

当前阶段北极地区原住民与欧洲裔居民传统与外来肉类产品摄入量的定量评估

Fatima A. Bichkaeva, Ekaterina V. Nesterova, Olga S. Vlasova, Boris A. Shengof, Alexandra V. Strelkova, Nina F. Baranova, Tatyana B. Gretskaya

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

摘要

论证。在高纬度地区，营养全面且均衡的膳食对于维持人体代谢健康具有重要作用。随着北方地区工业开发与城市化带来的社会经济变迁，原住民逐渐由传统的游牧生活方式转变为定居于聚居地的生活方式，这一变化影响了膳食结构，进而对代谢健康产生影响。

目的。比较分析当前阶段北极地区原住民与当地欧洲裔居民对传统与外来肉类产品的定量摄入情况。

材料与方法。在Yamalo-Nenets自治区和Nenets自治区开展实地考察，通过问卷调查法评估839名居民的膳食情况。收集了北极地区原住民（包括游牧与定居群体）及当地欧洲裔居民在过去12个月内对传统与外来肉类产品的摄入情况的回顾性数据。

结果。原住民的传统肉类摄入量高于当地欧洲裔居民，而后者则摄入更多的外来肉类产品，包括瘦肉和肥肉。游牧原住民摄入的传统肉类显著高于定居原住民，而后者摄入的外来肉类产品相对较多。三组人群在加工肉制品的摄入量方面差异不大。

结论。外来肉类产品在膳食结构中的增多尚未完全取代俄罗斯联邦北极地区原住民的传统食物。与定居原住民相比，仍维持游牧生活方式的原住民，其肉类摄入模式更接近传统饮食类型。但与此同时，作为涅涅茨人饮食基础的驯鹿肉，其摄入量在回顾性分析中呈下降趋势。因此，为保障北方原住民的生活质量与健康，应倡导保留并延续世代形成的传统膳食模式，并维持本地生产食品在膳食中的比例。

关键词：传统饮食；肉类产品；原住民；涅涅茨人；当地欧洲裔居民；北极。

引用本文：

Bichkaeva FA, Nesterova EV, Vlasova OS, Shengof BA, Strelkova AV, Baranova NF, Gretskaya TB. 当前阶段北极地区原住民与欧洲裔居民传统与外来肉类产品摄入量的定量评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):100–109. DOI: 10.17816/humeco633042 EDN: SODBSJ

收到: 31.05.2024

接受: 21.05.2025

发布日期: 18.06.2025

BACKGROUND

A wholesome, balanced diet is essential for preserving health. Nutrition is the foundation of human health. A person needs food to build the cellular structures of organs, which is a source of energy used by the body. Historically, the traditional diet of the Arctic indigenous people has differed from the food culture of the population in moderate and middle latitudes and has developed to improve the body's adaptation to extreme living conditions [1–4]. Historically, the key traditional activity of the Nenets was large-scale nomadic reindeer herding; fishing was also widespread, i.e. the staples of their unique diet included reindeer meat, fish, and game (bears, elks, upland game birds, and waterfowl). In addition, the Nenets consumed fresh or boiled reindeer blood. Indeed, for a long time, blood consumption has been actually the only way for the peoples of the North to receive the essential micronutrients [5, 6]. The meat was eaten raw immediately after the animal was slaughtered or dried and frozen. However, in most cases, the peoples of the North consumed heated animal meat as they usually boiled it in a cauldron. The broth was drunk from teacups, chasing it with pieces of boiled meat rather than bread [7]. The indigenous population considered deer heart, liver, fat, bone marrow, and brain as delicacies. In addition, nutritional qualities of these foods (high content of vitamins, proteins, and polyunsaturated fatty acids) were suitable for wholesome nutrition in the extreme natural conditions of the North; their regular consumption contributed to preserving health [8, 9].

Indigenous peoples' traditional lifestyles have shifted from nomadic to the settled one due to socioeconomic changes in Russia caused by industrial growth and urbanization in northern regions. Subsequently, many of them shifted from a nomadic lifestyle in the tundra to a settled lifestyle in villages [10]. Their diet has westernized: consumption of traditional products available through reindeer herding, hunting, and fishing decreased; on contrary, dependence on purchased products rich in saturated fats and refined carbohydrates, previously not typical for the indigenous population, increased [6, 11]. In addition, the indigenous population cooking methods have changed: they started frying meat in a frying pan, cooking soups that were previously uncommon for them (e.g. borscht, cabbage soup), using semi-finished products and pastry (pies, sweet buns). The traditional diet of indigenous peoples was rich in animal proteins and fats; whereas today, plant carbohydrates and proteins are becoming more common in the diet of the indigenous population of the North [3, 6, 12].

AIM: To conduct a comparative quantitative assessment of traditional and imported meat product consumption by indigenous and local Caucasian populations of the contemporary Arctic.

MATERIALS AND METHODS

We conducted a cross-sectional single-center observational study to investigate the consumption of traditional and imported meat products by the nomadic and settled indigenous population in the Arctic region and the local Caucasian population.

The areas were selected for the study based on the importance of the lands included in the list of the Arctic zone land territories of the Russian Federation (Executive Order of the President of Russia dated May 02, 2014), including the Nenets and Yamalo-Nenets Autonomous Okrugs, and Mezen Municipal District of the Arkhangelsk Region.

This study used materials from 2009–2017 expeditions. We examined a total of 839 people living in villages and the tundra of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (YNAO: Krasnoselkup village, Syo-Yakha village, Tolka village, Antipayuta village, Nori village, Nyda village, Gyda village, Tazovsky settlement), the Nenets Autonomous Okrug (NAO: Nelmin-Nos village, Nes village), and the Mezensky District of the Arkhangelsk Region (Dolgoshchelye village, Sovpolye village, Soyana village). 126 nomadic participants (NP), 422 settled participants (SP), who moved from the tundra to the settlement and live together with the local Caucasian population, and 291 participants of the local Caucasian population (LCP) of the settlement were interviewed. The study involved participants aged 22 to 60 years with the mean age of 44 [35; 52] years. By ethnic groups, indigenous population is mainly represented by Nenets and the Caucasian population is mainly represented by Russians [13].

The study complies with the biomedical ethics principles and standards (the 2010 Helsinki Declaration of the World Medical Association, as amended in 2013). The examination procedure was as follows: during expeditions to villages (in the winter and spring), respondents were invited to medical stations. After an explanation of the idea behind the examination, they signed a voluntary consent approved by the Biomedical Ethics Committee at the Natural Adaptations Physiology Institute of the Federal State Budgetary Research Institution Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences and filled a questionnaire.

The frequency method of nutritional research is based on recording the frequency of meat consumption. The study identified four groups of meat consumed by the indigenous and local Caucasian population of the North over a 12-month period: 1) traditional (venison, deer liver, game); 2) imported healthy meat (beef, poultry, minced meat, canned goods based on these types of meat); 3) imported fatty meat (pork, lamb, and their offal); 4) processed meat (smoked and cooked sausage, frozen semi-finished products, links, and link sausage) [14]. An analysis of the data identified the frequency of consumption and converted it into numerical daily consumption. The amount of food consumed was assessed using the Album of Portion Sizes of Foods and Courses [15].

Statistical analysis of the results was performed using Microsoft Excel 2010 and SPSS 22.0 for Windows software package. A normality test (Shapiro–Wilk test) was performed. Given the partial asymmetry of the distribution series of the studied parameters in the analyzed groups, we used nonparametric statistical methods. To characterize the variation series, the median (Me), arithmetic mean (M), percentiles (25; 75), and standard mean error (m) were determined. For preliminary assessment of significant differences between independent samples, we used nonparametric Kruskal–Wallis test (H-test). In addition, for assessment of statistical significance of differences between independent samples, we used the Mann–Whitney test. The statistical significance of differences was considered to be established at a probability of type II error of $p < 0.05$. To adjust the probability of type I error when comparing the analyzed groups, we used a Bonferroni correction of 3 (for three comparisons).

RESULTS

The survey of respondents showed that meat products are quite widely consumed by the indigenous and local Caucasian population of the Arctic. Moreover, the total consumption of meat and meat products is higher in the indigenous population as compared to the non-indigenous population ($p < 0.001$); the consumption of non-traditional meat products (imported healthy (low-fat) and fatty meat) gradually and significantly increases in groups from NP to LCP ($p < 0.001$; see Table 1).

Consumption of traditional meat products was highest in the NP group as compared both to SP ($p_{1-2}=0.029$) and LCP ($p_{1-3} < 0.001$). A similar trend was identified in relation to SP as compared to LCP ($p_{2-3} < 0.001$). The average daily consumption of venison and other game in the NP and SP groups is significantly higher as compared to the local Caucasian population ($p_{1-3} < 0.001$; $p_{2-3} < 0.001$; $p_{1-3}=0.006$, $p_{2-3} < 0.001$ respectively). Analysis of deer liver consumption did not show any significant differences in the analyzed groups. The consumption of deer blood was significantly higher in the NP group as compared to SP and LCP ($p < 0.001$).

The consumption of imported healthy meat products is significantly higher in the LCP group ($p_{1-3, 2-3} < 0.001$; see Table 2). However, the consumption of this meat in all studied groups was higher as compared to imported fatty meat products (see Table 3).

A significantly higher consumption of chicken meat ($p_{1-2, 1-3} < 0.001$) and minced meat ($p_{2-3}=0.005$) was found in the SP and LCP groups as compared to NP. Despite the highest daily consumption of beef by the LCP group, no significant differences were found between the analyzed groups. An analysis of the consumption of canned meat showed significant differences between the groups ($p_{1-2} < 0.001$; $p_{1-3}=0.040$; $p_{2-3}=0.007$) with the highest daily consumption in the SP group (see Table 2).

An analysis of the average daily consumption of imported fatty meat showed that it was significantly lower in the NP group diets ($p_{1-2}=0.027$, $p_{1-3} < 0.001$) as compared to SP and LCP ($p_{2-3}=0.001$). An analysis of some fatty meat products showed the highest consumption of pork in SP, offal in LCP, and lamb in SP. However, there were no significant differences (see Table 2).

We believe that all this would, first and foremost, impair the energy balance and the balance of essential nutrients in the indigenous population, especially in the SP group.

An analysis of the consumption of processed meat showed no significant difference in their overall consumption, neither in the indigenous nor local Caucasian population (see Table 3). However, for individual products, we can see that the NP group less often consumed cooked and smoked sausages and significantly less often consumed links and linked sausage ($p_{1-2}=0.015$, $p_{1-3}=0.001$) as compared to SP and LCP. Nevertheless, the NP group is inferior only to SP in terms of consumption of frozen semi-finished products ($p_{1-2}=0.045$; $p_{2-3} < 0.001$ as compared to SP and LCP, respectively).

DISCUSSION

The ethnically specific activity of the indigenous peoples of the Russian Arctic is reindeer breeding [15]. This determines the nomadic or semi-nomadic lifestyle of reindeer breeders. The venison is valued for its nutrition properties, making it an indispensable product in the diet of the indigenous population of the North. Venison is a dietary protein that sets favorably apart from natural meat of other domestic animals due to its low energy value, delicate taste, and low fat content. It has high bioavailability as it contains 16 amino acids, B vitamins, tocopherols, ascorbic acid, and some bioelements (K, Mg, Na, Fe, Se, Mn, Zn, Cu, and P) [16–18]. Large-scale urbanization of the Arctic strongly affects the indigenous lifestyle, traditional work associated with breeding of domestic reindeer, fishing, and hunting. In recent years, there has been a decrease in the reindeer population, leading to reindeer meat shortage in the diet of indigenous people [17]. Summarizing the numerical data on the consumption of venison by indigenous populations of the Russian Arctic in 1960–2010 from literature, the average daily consumption was about 440 g in the range of 149–700 g [4, 8, 10]. Our study showed a lower venison consumption, 294 g in the NP group and 259 g in the SP group.

Khasnulin [19] noted that for the indigenous population of the Khanty–Mansi Autonomous Okrug, the lowest daily requirement for animal protein (120 g) is met by 640 g of meat or 800 g of fish. Robbek et al. [16] showed that consumption of 500 g of venison covers all human body needs (according to the Russian standards) in nutrients, such as animal proteins, critical amino acids, fatty acids, including polyunsaturated, some macro- and micronutrients, and vitamins. Thus, our study confirms the new trend of decreasing venison consumption in the indigenous peoples of the North.

Table 1. Quantitative overall consumption (g/day) of meat and meat-containing products, non-traditional meat products (imported lean and fatty meat), and traditional meat products by indigenous and local Caucasian populations of the Arctic

Food products	Lifestyle	M±m	Me (p25; p75)	Kruskal–Wallis test and <i>p</i> -values
Meat and meat-containing products	NIP (1)	387.4±36.1	200.0 (149.6; 613.3)	Kruskal–Wallis test=25.3 <i>p</i> <0.001 <i>p</i> ₁₋₂ =0.528 <i>p</i>₁₋₃ <0.001 <i>p</i>₁₋₃ <0.001
	SIP (2)	398.1±19.7	207.6 (112.4; 653.2)	
	LCP (3)	274.8±18.2	150.2 (98.9; 289.2)	
Non-traditional meat products	NIP (1)	63.7±9.0	33.8 (17.9; 69.6)	Kruskal–Wallis test=49.4 <i>p</i> <0.001 <i>p</i>₁₋₂=0.004 <i>p</i>₁₋₃ <0.001 <i>p</i>₁₋₃ <0.001
	SIP (2)	129.5±10.3	53.3 (20.9; 128.6)	
	LCP (3)	157.9±13.5	78.7 (40.0; 171.9)	
Traditional meat products:	NIP (1)	333.4±35.1	134.3 (132.5; 542.9)	Kruskal–Wallis test=136.7 <i>p</i> <0.001 <i>p</i>₁₋₂=0.029 <i>p</i>₁₋₃ <0.001 <i>p</i>₂₋₃ <0.001
	SIP (2)	277.3±15.4	134.3 (86.5; 413.3)	
	LCP (3)	122.0±11.8	41.5 (26.7; 113.8)	
Reindeer meat	NIP (1)	293.9±29.0	114.3 (114.3; 450.0)	Kruskal–Wallis test=147.7 <i>p</i> <0.001 <i>p</i> ₁₋₂ =0.050 <i>p</i>₁₋₃ <0.001 <i>p</i>₂₋₃ <0.001
	SIP (2)	258.6±15.1	114.3 (71.4; 400.0)	
	LCP (3)	103.5±11.7	16.7 (6.7; 114.3)	
Reindeer liver	NIP (1)	50.0±16.9	13.3 (13.3; 31.7)	Kruskal–Wallis test=5.9 <i>p</i> =0.053 <i>p</i> ₁₋₂ =0.051 <i>p</i> ₁₋₃ =0.228 <i>p</i> ₂₋₃ =2.168
	SIP (2)	27.9±4.3	13.3 (6.7; 26.7)	
	LCP (3)	27.5±7.7	13.3 (6.7; 25.0)	
Reindeer blood	NIP (1)	40.7±9.9	19.3 (6.7; 28.6)	Kruskal–Wallis test=23.2 <i>p</i> <0.001 <i>p</i>₁₋₂ <0.001 <i>p</i>₁₋₃=0.001 <i>p</i>₂₋₃=0.400
	SIP (2)	47.8±13.9	6.7 (2.6;14.3)	
	LCP (3)	10.0±5.2	3.3 (1.7; 6.8)	
Game meat	NIP (1)	6.1±1.0	5.0 (5.0; 5.0)	Kruskal–Wallis test=23.9 <i>p</i> <0.001 <i>p</i> ₁₋₂ =2.177 <i>p</i>₁₋₃=0.006 <i>p</i>₂₋₃ <0.001
	SIP (2)	6.0±0.5	5.0 (5.0; 5.0)	
	LCP (3)	13.3±1.5	5.0 (5.0; 5.0)	

Note: NIP, nomadic indigenous populations; SIP, settled indigenous populations; LCP, local Caucasian populations; bold indicates significant differences (*p* < 0.05).

Based on our study, we can also conclude that the consumption of venison by the Nenets is less than recommended and required for the indigenous peoples of the Russian Arctic.

The ever declining consumption of traditional products affects the health of indigenous people. Disruption of the ethnic diet principles can lead to an increased prevalence of metabolic disorders, endocrine diseases, cardiovascular diseases, and malignant tumors [20]. Bersamin et al. [21] and Little et al. [22] showed that for Arctic indigenous populations in Canada and Alaska the replacement of traditional diets with so-called Western diets contributed to aggravation of several chronic conditions, including obesity, cardiovascular diseases, and type 2 diabetes mellitus. Some authors have provided evidence that a diet rich in venison helps to increase antiatherogenic fractions of blood lipids [3, 19–24], which, in turn, helps to prevent myocardial infarctions and ischemic strokes.

Thus, only adequate nutrition in the context of human life-style allows to maintain his or her normal functional performance and the level of adaptation to extreme environmental conditions can be defined as satisfactory. This convinces us that traditional dietary habits of the indigenous population must be preserved.

CONCLUSION

The analysis of meat and meat product consumption showed a significantly higher consumption of traditional meat by the indigenous population as compared to the local Caucasian population (LCP). However, the consumption of venison and game is significantly higher in the nomadic population (NP) as compared to the settled population (SP). At the same time, nomadic indigenous populations much less frequently consumed poultry, beef, pork, lamb, and processed meat

Table 2. Quantitative consumption (g/day) of imported fatty and lean meat products by indigenous and local Caucasian populations of the Arctic

Food products	Lifestyle	M±m	Me (p25; p75)	Kruskal–Wallis test and <i>p</i> -values
Imported lean meat products:	NIP (1)	35.3±5.1	20.0 (6.7; 47.0)	Kruskal–Wallis test=47.3 <i>p</i> <0.001 <i>p</i> ₁₋₂ =0.112 <i>p</i>₁₋₃ <0.001 <i>p</i>₂₋₃ <0.001
	SIP (2)	58.9±5.6	25.6 (10.7; 55.9)	
	LCP (3)	87.6±8.3	42.9 (20.4; 88.6)	
Beef	NIP (1)	31.7±10.8	20.0 (10.0; 40.0)	Kruskal–Wallis test=3.4 <i>p</i> =0.176 <i>p</i> ₁₋₂ =0.222 <i>p</i> ₁₋₃ =0.209 <i>p</i> ₂₋₃ =2.881
	SIP (2)	67.5±11.6	28.6 (20.0; 85.7)	
	LCP (3)	78.3±13.0	32.1 (16.7; 85.7)	
Poultry (chicken, etc.)	NIP (1)	17.5±3.7	5.0 (2.5; 20.0)	Kruskal–Wallis test=6.8 <i>p</i> <0.001 <i>p</i>₁₋₂ <0.001 <i>p</i>₁₋₃ <0.001 <i>p</i> ₂₋₃ =0.408
	SIP (2)	40.8±4.3	13.3 (6.3; 38.6)	
	LCP (3)	43.4±4.4	20.0 (6.3; 40.0)	
Canned meat	NIP (1)	7.8±2.3	1.7 (1.7; 1.7)	Kruskal–Wallis test=20.8 <i>p</i> <0.001 <i>p</i>₁₋₂ <0.001 <i>p</i>₁₋₃ =0.040 <i>p</i>₂₋₃ =0.007
	SIP (2)	11.9±1.1	4.2 (1.7; 16.7)	
	LCP (3)	10.3±1.6	1.7 (1.7; 13.3)	
Minced meat (cutlets)	NIP (1)	16.79±3.1	2.5 (2.5; 42.9)	Kruskal–Wallis test=9.2 <i>p</i>=0.010 <i>p</i> ₁₋₂ =0.765 <i>p</i> ₁₋₃ =1.714 <i>p</i>₂₋₃ =0.005
	SIP (2)	8.97±1.1	2.5 (2.5; 10.7)	
	LCP (3)	11.68±0.8	6.3 (2.5; 21.4)	
Imported fatty meat products	NIP (1)	6.9±1.5	2.5 (2.5; 2.5)	Kruskal–Wallis test=29.2 <i>p</i> <0.001 <i>p</i>₁₋₂ =0.027 <i>p</i>₁₋₃ <0.001 <i>p</i>₂₋₃ =0.001
	SIP (2)	24.4±4.6	2.5 (2.5; 18.6)	
	LCP (3)	31.6±3.9	10.7 (2.5; 37.5)	
Pork	NIP (1)	14.4±1.7	13.8 (9.6; 20.0)	Kruskal–Wallis test=5.2 <i>p</i> =0.073 <i>p</i> ₁₋₂ =0.215 <i>p</i> ₁₋₃ =2.091 <i>p</i> ₂₋₃ =0.127
	SIP (2)	59.0±11.1	23.4 (13.3; 80.3)	
	LCP (3)	41.4±6.9	13.3 (6.7; 40.0)	
Mutton	NIP (1)	9.2±1.1	9.2 (7.1; 11.3)	Kruskal–Wallis test=1.6 <i>p</i> =0.448 <i>p</i> ₁₋₂ =0.728 <i>p</i> ₁₋₃ =0.706 <i>p</i> ₂₋₃ =2.077
	SIP (2)	15.0±3.9	14.2 (7.9; 22.9)	
	LCP (3)	30.2±4.7	16.7 (6.7; 28.6)	
Offal	NIP (1)	3.9±1.4	2.5 (2.5; 2.5)	Kruskal–Wallis test=8.0 <i>p</i>=0.018 <i>p</i> ₁₋₂ =0.765 <i>p</i> ₁₋₃ =0.064 <i>p</i> ₂₋₃ =0.143
	SIP (2)	3.7±0.6	2.5 (2.5; 2.5)	
	LCP (3)	4.9±0.5	2.5 (2.5; 2.5)	

Note: NIP, nomadic indigenous populations; SIP, settled indigenous populations; LCP, local Caucasian populations; bold indicates significant differences (*p* < 0.05).

products. However, the consumption of imported healthy meat is significantly higher in the Caucasian population. It is worth noting that the consumption of this meat in all studied groups was higher than the consumption of fatty meat. It is quite predictable that a reduced consumption of traditional meat in the SP group was due to departure from the traditional nature management (nomadic reindeer herding) and reduced availability of its products. Consumption of traditional products by local non-indigenous populations indicates

a certain assimilation of Caucasians due to the use of local food sources in their diet.

Thus, the increase of imported meat products, previously not used often by indigenous peoples of the Arctic zone of the Russian Federation, did not replaced all traditional foods. In the nomadic indigenous population, the consumption of meat products is closer to the traditional diet as compared to the settled indigenous population. However, the consumption of venison, a staple of the Nenets diet, has been declining

Table 3. Quantitative consumption (g/day) of processed meat by indigenous and local Caucasian populations of the Arctic

Food products	Lifestyle	M±m	Me (p25; p75)	Kruskal–Wallis test and <i>p</i> -values
Processed meat	KA (1) NIP (1)	37.7±8.3	15.1 (8.7; 35.7)	Kruskal–Wallis test=3.64 <i>p</i> =0.162 <i>p</i> _{1–2} =0.184 <i>p</i> _{1–3} =0.435. <i>p</i> _{2–3} =1.585
	OA (2) SIP (2)	72.2±7.1	21.4 (8.7; 57.1)	
	ME (3) LCP (3)	51.6±6.5	19.7 (8.7; 49.6)	
Smoked sausage	KA (1) NIP (1)	28.9±13.5	13.3 (6.7; 24.1)	Kruskal–Wallis test=4.69 <i>p</i> =0.096 <i>p</i> _{1–2} =0.950 <i>p</i> _{1–3} =0.067 <i>p</i> _{2–3} =0.359
	OA (2) SIP (2)	58.4±7.6	13.3 (6.7; 85.7)	
	ME (3) LCP (3)	63.6±11.7	26.7 (6.7; 42.9)	
Boiled sausage	KA (1) NIP (1)	29.6±12.2	13.3 (6.7; 38.9)	Kruskal–Wallis test=4.7 <i>p</i> =0.050 <i>p</i> _{1–2} =1.109 <i>p</i> _{1–3} =0.066 <i>p</i> _{2–3} =0.309
	OA (2) SIP (2)	58.8±7.5	14.3 (6.7; 80.0)	
	ME (3) LCP (3)	67.9±13.1	42.9 (7.1; 42.9)	
Frozen semi-finished products (e.g., dumplings)	KA (1) NIP (1)	19.9±3.9	5.0 (2.5; 26.7)	Kruskal–Wallis test=23.5 <i>p</i> <0.001 <i>p</i>_{1–2}=0.045 <i>p</i>_{1–3}=2.275 <i>p</i>_{2–3} <0.001
	OA (2) SIP (2)	23.5±2.0	10.7 (5.0; 26.8)	
	ME (3) LCP (3)	15.7±2.1	5.0 (2.5; 20.0)	
Frankfurters and sausages	KA (1) NIP (1)	6.1±1.4	3.3 (3.3; 3.3)	Kruskal–Wallis test=14.6 <i>p</i>=0.001 <i>p</i>_{1–2}=0.015 <i>p</i>_{1–3} <0.001 <i>p</i>_{2–3}=0.442
	OA (2) SIP (2)	10.2±1.2	3.3 (3.3; 14.3)	
	ME (3) LCP (3)	11.8±1.0	3.3 (3.3; 14.3)	

Note: NIP, nomadic indigenous populations; SIP, settled indigenous populations; LCP, local Caucasian populations; bold indicates significant differences (*p* < 0.05).

against past periods. Therefore, to maintain a decent living and health standards, the indigenous people of the northern regions need to adhere to the traditional diet developed over centuries and maintain the share of products produced in the region of residence.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Ф.А. Бичкаева — организация и дизайн исследования, редакция и утверждение окончательного варианта статьи; Е.В. Нестерова — обзор литературы, сбор и обработка данных, анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; О.С. Власова — сбор и анализ литературных источников и написание текста статьи; Б.А. Шенгоф — сбор и обработка данных; А.В. Стрелкова — обзор литературы; Н.Ф. Баранова — обработка данных; Т.Б. Грецкая — обработка данных. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Института физиологии природных адаптаций УрО РАН и ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН от 02.02.2009, 04.02.2013, 09.11.2016.

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Работа выполнена в соответствии с планом Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук по теме «Гормональное обеспечение и характер питания в регуляции метаболических процессов у практически здоровых

жителей Арктики на современном этапе» (FUJW-2025-0015), гос. регистрация № 125021902587-6.

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

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

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: F.A. Bichkaeva: conceptualization, methodology, writing—review & editing; E.V. Nesterova: formal analysis, investigation, data curation, writing—original draft; O.S. Vlasova: formal analysis, writing—original draft; B.A. Shengof: investigation, data curation; A.V. Strelkova: formal analysis; N.F. Baranova, T.B. Gretskaia: data curation. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Institute of Physiology of Natural Adaptations, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, and the Federal Research Center for Comprehensive

Study of the Arctic, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, on February 2, 2009; February 4, 2013; and November 9, 2016.

Consent for publication: All participants provided written informed consent prior to inclusion in the study.

Funding sources: The study was conducted as part of the research plan of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences "The Effect of Hormonal Regulation and Dietary Patterns on Metabolic Control in Apparently Healthy Arctic Residents in the Modern" (project ID: FUUW-2025-0015, state registration number: 125021902587-6).

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

REFERENCES | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mataev SI, Vasilkova TN. *Metabolic syndrome in the Far North*. Tyumen: TyumNGNU; 2011. 131 p. (In Russ.) EDN: QMBRHB
2. Ladodo KS, Borovik TE, Semenova NN, Surzhik A.V. Formation of correct eating behavior. *Lechaschi Vrach*. 2009;(1):54–57. (In Russ.) EDN: PYKQLX
3. Andronov SV, Lobanov AA, Kobelkova IV, et al. Seasonality of consumption of traditional products of reindeer husbandry and river fishing by indigenous people of the arctic zone of western siberia in the context of climate change. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(6):610–616. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-6-610-616 EDN: GBLJHB
4. Yakovleva NV. *Traditional food of the inhabitants of the North*. Arkhangelsk: Pomor University; 2005. 242 p. (In Russ.) EDN: QLMYNN
5. Adamova VI, Kovalev NI. Amino acid composition of reindeer meat proteins. *Problems of Nutrition*. 1974;(4):58–59. (In Russ.)
6. Pershina IV. Features of food residents of the Far North. *Scientific Bulletin of the Arctic*. 2019;(6):97–107. EDN: HPNTCX
7. Levina MG, Potapova LP, editors. *Peoples of Siberia*. Moscow; Leningrad: Izd-vo Akad. nauk SSSR; 1956. 1083 p. (In Russ.)
8. Lapenko IV, Korchin VI, Korchina TYa. *Features of the metabolic profile, elemental and micronutrient status of the indigenous and newcomer populations of the urbanized North*. Voronezh: Rhythm; 2021. 316 p. (In Russ.) EDN: HJSKRD
9. Andronov SV, Lobanov AA, Kostitsyn VV, et al. The traditional food of indigenous inhabitants of the Yamal-Nenets Autonomous District and prevention of development of hypertension, chronic bronchitis, and overweight. *Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*. 2017;(2):13–16. EDN: XNBGAP
10. Vasilkova TN, Evay AV, Martynova EP, Novikova NI. *Indigenous peoples and industrial development of the Arctic (ethnological monitoring in the Yamal-Nenets Autonomous District)*. Moscow: Shadrinskii dom pechaty; 2011. 267 p. (In Russ.) EDN: QURJVV
11. Troshina TI, Morozova OM, Vorobyeva NA. Transformation processes and nutrition factor in the Far North residents' resilience system. *Arctic and North*. 2021;(43):190–214. doi: 10.37482/issn2221-2698.2021.43.190 EDN: VAHYSM
12. Lobanov AA, Andronov SV, Bogdanova EN. The impact of traditional nutrition on maintaining the indigenous peoples in the Russian Arctic. In: *Arctic research: from extensive development to integrated development: materials of the II International scientific and practical conference*. Arkhangelsk; 2020. P. 239–242. EDN: CRNM DX
13. Bichkaeva FA, Gretskaia TB. Pancreatic hormones, the composition of saturated fatty acids and their relationship with glucose levels, depending on the body mass index in Arctic residents. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*. 2022;(4):412–426. doi: 10.31857/S1026347022030040 EDN: LFLSLUD
14. Martinchik AN, Baturin AK, Baeva VS, Peskova EV. Study of actual nutrition using food consumption frequency analysis, creation of a questionnaire and assessment of the reliability of the method. *Russian Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 1998;(5):14–19. (In Russ.)
15. Martinchik AN, Baturin AK, Baeva VS, et al. *Album of portions of food and dishes*. Moscow; 1995. 64 p. (In Russ.)
16. Robbek NS, Barashkova AI, Reshetnikov AD, et al. The role of venison in nutrition of the North natives. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015;(9): 25–31. EDN: UMKXCH
17. Bikbulatova LN, Lapenko VV. Adaptation and health of the population of the Arctic zone of the Russian Federation (using the example of the Yamal-Nenets Autonomous District). Moscow: Rhythm; 2023. 308 p. (In Russ.) EDN: KKDCGH
18. Bogdan EG, Turshuk EG. Characteristics of venison. The research of vitamin and fatty acid composition of the meat of domesticated reindeer. *Bulletin of the Murmansk State Technical University*. 2016;19(4):842–847. doi: 10.21443/1560-9278-2016-4-842-847 EDN: XHWWUZ
19. Khasnulin VI. Health, the northern type of metabolism and the need for fish in the diet in the North. In: *Problems of maintaining health in the North and Siberia: works on medical anthropology*. St. Petersburg: Tipografiya "Novosti"; 2009:55–77. (In Russ.) EDN: VBZSYP
20. Nikiforova VA, Lapina SF, Kiryutkin SA. Traditional food as the basis for preserving the health of the indigenous population of the north of the Krasnoyarsk territory and the Irkutsk region. *Issues of Social-Economic Development of Siberia*. 2021;(3):115–124. doi: 10.18324/2224-1833-2021-3-115-124 EDN: MGNXYL
21. Bersamin A, Luick BR, King IB, et al. Westernizing diets influence fat intake, red blood cell fatty acid composition, and health in remote Alaskan Native communities in the center for Alaska Native health study. *J Am Diet Assoc*. 2008;108(2):266–273. doi: 10.1016/j.jada.2007.10.046
22. Little M, Hagar H, Zivot C, et al. Drivers and health implications of the dietary transition among Inuit in the Canadian Arctic: a scoping review. *Public Health Nutr*. 2021;24(9):2650–2668. doi: 10.1017/S1368980020002402
23. Sanders MA, Oppezio M, Skan J, et al. Demographic and cultural correlates of traditional eating among Alaska Native adults at risk for cardiovascular disease. *PLoS One*. 2022;17(9):e0275445. doi: 10.1371/journal.pone.0275445
24. Ryman TK, Boyer BB, Hopkins S, et al. Associations between diet and cardiometabolic risk among Yup'ik Alaska Native people using food frequency questionnaire dietary patterns. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2015;25(12):1140–1145. doi: 10.1016/j.numecd.2015.08.003

AUTHORS' INFO

*** Ekaterina V. Nesterova;**

address: 23 Severnoy Dviny nab, Arkhangelsk, Russia, 163000;
ORCID: 0000-0001-8467-2514;
eLibrary SPIN: 7445-8730;
e-mail: ekaterina29reg@mail.ru

Fatima A. Bichkaeva, Dr. Sci. (Biology);

ORCID: 0000-0003-0727-3071;
eLibrary SPIN: 3562-3921;
e-mail: fatima@fciarctic.ru

Olga S. Vlasova, Cand. Sci. (Biology);

ORCID: 0000-0002-6956-6905;
eLibrary SPIN: 3457-9822;
e-mail: olgawlassova@mail.ru

Boris A. Shengof;

ORCID: 0000-0002-3776-1474;
eLibrary SPIN: 2259-0799;
e-mail: b-shengof@yandex.ru

Alexandra V. Strelkova, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-9077-889X;
eLibrary SPIN: 1890-4879;
e-mail: al.strelkova@yandex.ru

Nina F. Baranova;

ORCID: 0000-0002-7527-8088;
eLibrary SPIN: 4542-0994;
e-mail: baranova.nfb@yandex.ru

Tatyana B. Gretskaia;

ORCID: 0000-0002-8513-1848;
eLibrary SPIN: 1661-3095;
e-mail: tatyana-rab@yandex.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Нестерова Екатерина Васильевна;**

адрес: Россия, 163000, Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23;
ORCID: 0000-0001-8467-2514;
eLibrary SPIN: 7445-8730;
e-mail: ekaterina29reg@mail.ru

Бичкаева Фатима Артемовна, д-р биол. наук;

ORCID: 0000-0003-0727-3071;
eLibrary SPIN: 3562-3921;
e-mail: fatima@fciarctic.ru

Власова Ольга Сергеевна, канд. биол. наук;

ORCID: 0000-0002-6956-6905;
eLibrary SPIN: 3457-9822;
e-mail: olgawlassova@mail.ru

Шенгоф Борис Александрович;

ORCID: 0000-0002-3776-1474;
eLibrary SPIN: 2259-0799;
e-mail: b-shengof@yandex.ru

Стрелкова Александра Витальевна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-9077-889X;
eLibrary SPIN: 1890-4879;
e-mail: al.strelkova@yandex.ru

Баранова Нина Федотовна;

ORCID: 0000-0002-7527-8088;
eLibrary SPIN: 4542-0994;
e-mail: baranova.nfb@yandex.ru

Грецкая Татьяна Борисовна;

ORCID: 0000-0002-8513-1848;
eLibrary SPIN: 1661-3095;
e-mail: tatyana-rab@yandex.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643450>

EDN: VMWYAW

Частота встречаемости естественных антител системы ABO у доноров Сургута

Л.А. Гусаченко^{1,2}, О.Г. Литовченко¹, Р.Р. Габидуллина², Ю.А. Чемакин²¹ Сургутский государственный университет, Сургут, Россия;² Станция переливания крови, Сургут, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Физиологическое состояние популяции можно оценить адаптационной функцией поддержания постоянства внутренней среды организма человека с точки зрения изучения активности естественных антител. Экологическое своеобразие проявления антителообразования в популяциях представляет интерес для популяционной физиологии, а также совершенствования прикладной трансфузиологии и трансплантологии.

Цель. Определение особенностей частоты встречаемости титров естественных антител системы ABO у доноров Сургута.

Материалы и методы. Проведено наблюдательное одноцентровое одномоментное поперечное исследование, в которое включены доноры Сургута. Определение и активность естественных полных ABO антиэритроцитарных α - (анти-A) и β -антител (анти-B) проводили методом титрования на плоскости с использованием стандартных эритроцитов A(II) и B(III) группы, а также изотонического раствора натрия хлорида. Для оценки частоты встречаемости титров антител рассчитывали процентные показатели.

Результаты. Всего исследовано 14 223 образца донорской крови. У доноров Сургута активность естественных антител O(I) группы крови начиналась с титров 1:2 и 1:4. Кроме того, выявлены высокие титры, достигающие 1:512. Для A(II) группы крови наиболее характерны титры 1:8 у мужчин и 1:16 у женщин, а в B(III) группе крови у представителей обоих полов наиболее распространён титр 1:32. Максимальные зарегистрированные титры для A(II) и B(III) групп составили 1:256. У мужчин и у женщин наблюдали схожие сочетания титров, и также их тенденцию к снижению к 2023 г. У мужчин отмечена высокая частота встречаемости титра 1:8, в то время как у женщин — 1:16.

Заключение. Установлены особенности частоты встречаемости титров естественных антител системы ABO в 2015–2017 гг. по сравнению с 2023 г. — периодом постковидной трансформации иммунного ответа. Полученные различия, вероятно, обусловлены влиянием перенесённой коронавирусной инфекции и её последствиями для иммунной системы. Результаты исследования свидетельствуют о том, что иммунная система доноров Сургута активно вырабатывает естественные нормальные групповые антитела, что имеет важное значение при оценке физиологической структуры популяции, проживающей в конкретных условиях среды.

Ключевые слова: доноры; группы крови системы ABO; естественные антитела системы ABO; титр; COVID-19.

Как цитировать:

Гусаченко Л.А., Литовченко О.Г., Габидуллина Р.Р., Чемакин Ю.А. Частота встречаемости естественных антител системы ABO у доноров Сургута // Экология человека. 2025. Т. 32, № 2. С. 110–122. DOI: 10.17816/humeco643450 EDN: VMWYAW

Prevalence of Natural ABO Antibodies in Donors in Surgut

Lyudmila A. Gusachenko^{1,2}, Olga G. Litovchenko¹, Rozalija R. Gabidullina², Yuriy A. Chemakin²

¹ Surgut State University, Surgut, Russia;

² Blood Transfusion Station, Surgut, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The physiological status of a population can be assessed through the adaptive function of maintaining internal homeostasis, particularly by studying the activity of natural antibodies. The population-specific ecological variability in antibody production is of interest for both population physiology and the advancement of applied transfusion medicine and transplantation.

AIM: To assess the prevalence of natural ABO antibody titers in donors in Surgut.

METHODS: A single-center, cross-sectional, observational study was conducted. The study included donors from Surgut. The presence and activity of natural complete ABO anti-erythrocyte α (anti-A) and β (anti-B) antibodies were assessed using slide titration with standard A(II) and B(III) erythrocytes and isotonic sodium chloride solution. The prevalence of antibody titers was calculated as a percentage.

RESULTS: A total of 14,223 donor blood samples were analyzed. In type O(I) blood donors, natural antibody activity began at titers of 1:2 and 1:4, with some reaching titers as high as 1:512. The most prevalent titers in type A(II) blood donors were 1:8 in males and 1:16 in females, whereas in type B(III) blood donors, a 1:32 titer was most common in both sexes. The highest titers reported in the A(II) and B(III) groups were 1:256. Titer distributions were similar in males and females, with an overall tendency toward lower titers in 2023. A high incidence of 1:8 and 1:16 titers was reported in males and females, respectively.

CONCLUSION: Distinct patterns in the prevalence of natural ABO antibody titers were identified in 2015–2017 vs. 2023, a period with post-COVID-19 immune response transformation. These differences are likely due to previous SARS-CoV-2 infection and its effects on immune system function. The findings indicate that Surgut donors' immune systems actively produce natural ABO antibodies, which is important for assessing the physiological structure of populations living in specific environments.

Keywords: donors; ABO blood group system; natural ABO antibodies; titer; COVID-19.

To cite this article:

Gusachenko LA, Litovchenko OG, Gabidullina RR, Chemakin YuA. The frequency of occurrence of natural ABO antibodies in donors of Surgut. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):110–122. DOI: 10.17816/humeco643450 EDN: VMWYAW

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643450>

EDN: VMWYAW

Surgut市献血者ABO系统天然抗体滴度的分布频率

Lyudmila A. Gusachenko^{1,2}, Olga G. Litovchenko¹, Rozalija R. Gabidullina², Yuriy A. Chemakin²¹ Surgut State University, Surgut, Russia;² Blood Transfusion Station, Surgut, Russia

摘要

论证。从生理角度来看，研究天然抗体的活性可用于评估群体维持内环境稳定的适应功能。抗体生成在不同人群中的生态特征对群体生理学具有研究意义，同时对输血医学和移植医学的实践改进亦具有重要价值。

目的。确定Surgut市献血者ABO系统天然抗体滴度分布的特征。

方法：开展了一项观察性、单中心、横断面研究。

纳入研究对象为Surgut市的献血者。采用平板滴定法确定天然全型ABO抗红细胞 α （抗-A）和 β （抗-B）抗体的有无及其活性，实验中使用标准A(II)型和B(III)型红细胞以及等渗氯化钠溶液。通过计算百分比评估抗体滴度的出现频率。

结果。共分析了14,223份献血者血样。在Surgut市O(I)型献血者中，天然抗体活性滴度起始于1:2和1:4。另检测到滴度高达1:512的个体。在A(II)型血中，男性最常见的抗体滴度为1:8，女性则为1:16；而在B(III)型血中，男女献血者最常见的滴度均为1:32。A(II)型与B(III)型的最高记录滴度为1:256。男性与女性的滴度分布组合相似，且至2023年均显示下降趋势。在男性中，滴度为1:8的出现频率较高，而在女性中则以1:16为主。

结论。与2015–2017年相比，2023年（COVID-19后免疫反应转变期）ABO系统天然抗体滴度的分布特征发生变化。该差异可能与新冠病毒感染及其对免疫系统的影响相关。研究结果显示，Surgut市献血者群体的免疫系统仍积极产生正常的天然血型抗体，这对于评估特定环境中人群的生理结构具有重要意义。

关键词：献血者；ABO血型系统；天然抗体；滴度；COVID-19。

引用本文：

Gusachenko LA, Litovchenko OG, Gabidullina RR, Chemakin YuA. Surgut市献血者ABO系统天然抗体滴度的分布频率. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):110–122. DOI: 10.17816/humeco643450 EDN: VMWYAW

收到: 26.12.2024

接受: 03.06.2025

发布日期: 17.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Физиологическое состояние популяции можно оценить адаптационной функцией поддержания постоянства внутренней среды организма человека с точки зрения изучения активности естественных антител. Экологическое своеобразие проявления антителообразования в популяциях представляет интерес для популяционной физиологии, а также совершенствования прикладной трансфузиологии и трансплантологии [1–3].

Для антител системы ABO действует правило Ландштейнера, которое формулируется следующим образом: независимо от того, какой антиген находится на мембране эритроцитов, в плазме будут отсутствовать соответствующие антитела. У индивида с группой крови A(II) в плазме присутствуют антитела к антигену B (β), у индивида с группой крови B(III) — антитела к антигену A (α), а у индивида с группой крови AB(IV) антитела отсутствуют, поскольку в их эритроцитах образуются оба антигена. В свою очередь, при отсутствии антигенов системы ABO в сыворотке присутствуют естественные антитела против антигенов A и B, а также — против комбинированного антигена AB [4, 5].

Принято считать, что естественные антитела формируются в отсутствие прямой антигенной стимуляции. Существует несколько гипотез, объясняющих их естественное происхождение, а также факторы, влияющие на их генерацию. Полагают, что продукция естественных антител запускается в ответ на антигены энтеробактерий и начинается уже в неонатальном периоде. Вместе с тем их способность связываться с овальбумином и антигенами собственных тканей указывает на возможную стимуляцию их выработки аутологичными антигенами. Современные исследования подтверждают обе гипотезы: продукция естественных антител может быть как следствием естественной колонизации, так и результатом реакции иммунной системы на собственные антигены [3, 6–8]. Существуют два типа B-лимфоцитов, участвующих в продукции антител.

- B1-лимфоциты — самые простые клетки данного звена иммунной системы, присутствующие естественным образом. Они продуцируют антитела без предварительной стимуляции антигеном, преимущественно иммуноглобулины класса M (IgM).
- B2-лимфоциты, напротив, вырабатывают антитела в ответ на антигенную стимуляцию — как правило, в составе веществ природного происхождения. Основным классом антител, продуцируемых этими клетками, являются иммуноглобулины G (IgG) [8].

Антитела системы ABO начинают выявлять у ребёнка грудного возраста в период от 4 до 6 мес. Следует отметить, что IgG и IgM способны активировать систему комплемента и вызвать внутрисосудистой гемолиз [4].

Естественные антитела являются компонентом гуморального звена врождённого иммунитета

и представлены преимущественно низкоаффинными антителами, присутствующими в организме без предварительной антигенной стимуляции. Их мишенями являются как экзо-, так и эндогенные антигены, включая бактериального происхождения, что определяет роль естественных антител как элементов первой линии иммунной защиты от патогенов. Кроме того, установлено их участие в клиренсе продуктов катаболизма. Содержание естественных антител в крови довольно высокое, а их репертуар стабилен в течение всей жизни. Отклонения свидетельствуют о развитии патологии. Всё это указывает на важную роль естественных антител в гомеостазе [3, 8–10]. Исследования последних лет указывают на ассоциацию между системой групп крови ABO и Rh-фактором с некоторыми патологическими состояниями. В частности, обнаружена возможная связь между группой крови и восприимчивостью к инфекции COVID-19, однако механизмы этих ассоциаций остаются недостаточно изученными [5, 11–14].

Естественные антитела системы ABO имеют большое биологическое значение. По мнению некоторых авторов, одной из их ключевых функций является поддержание иммунологического гомеостаза, в частности за счёт присутствия естественных анти-A и анти-B антител, способных распознавать и нейтрализовать иногруппные изоантигены, поступающие в организм с антигенами животного, бактериального или вирусного происхождения. Механизмы, лежащие в основе продукции антител, перекрёстно реагирующих с антигенами либо антигенopodobными субстанциями, остаются предметом активных исследований. У женщин физиологическое значение естественных антител можно объяснить необходимостью нейтрализации токсических продуктов, поступающих от плода к матери в условиях гетероспецифической беременности [3, 6, 8, 9, 15–19]. Кроме того, естественные антитела системы ABO играют решающую роль в трансплантологии. При пересадке ABO-несовместимого органа (например, печени или почек) возможно развитие молниеносной реакции отторжения, опосредованной антителами. Высокий титр естественных анти-A и анти-B антител у реципиента может служить препятствием для трансплантации, несмотря на совместимость по другим критериям, и часто приводит к отказу от потенциально подходящего донора [17, 18, 20–22].

Цель исследования. Определение особенностей частоты встречаемости естественных антител системы ABO у доноров Сургута.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено наблюдательное одноцентровое одномоментное поперечное исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения в исследование:

- венозная кровь доноров Сургута, отобранная случайным образом;
- наличие добровольного письменного согласия.

Условия проведения

Исследование проведено на Станции переливания крови Сургута. Данные охватывают два периода: до начала пандемии COVID-19 — с 2015 по 2017 г. (архивные данные) и постпандемийный — 2023 г. (результаты одномоментного исследования). Сравнительный анализ проводили как по хронологическим периодам, так и с учётом половой принадлежности.

Определение титра естественных антител системы ABO

Материалом исследования была венозная кровь.

Определение титра естественных антител системы ABO анти-A (α) и анти-B (β) проводили методом гемагглютинации на плоскости стандартными эритроцитами A(II), B(III) группы с двойным последовательным разведением сыворотки.

Для определения титра антител исследуемую сыворотку разводили непосредственно на пластинке, используя изотонический раствор натрия хлорида. В десять пронумерованных точек последовательно наносили по одной большой капле (0,1 мл) 0,9% раствора натрия хлорида. В первую точку добавляли одну каплю (0,1 мл) исследуемой сыворотки и тщательно перемешивали. Затем с помощью той же пипетки переносили одну каплю полученной смеси во вторую точку, перемешивали и продолжали последовательное разведение до десятой точки. Таким образом получали серию разведений сыворотки от 1:2 до 1:1024.

На пластинку рядом с каждой каплей разведённой сыворотки наносили маленькую каплю (0,01 мл) стандартных эритроцитов соответствующей группы: эритроциты группы A(II) — при титровании α -антител и эритроциты группы B(III) — при титровании β -антител. Соотношение эритроцитов и сыворотки должно составлять 1:10.

Каждую каплю стандартных эритроцитов тщательно перемешивали с сывороткой сухой стеклянной палочкой, после чего пластинку покачивали, оставляли на 1–1,5 мин в покое, а затем снова покачивали. Наблюдали за агглютинацией в течение 5 мин.

За титр антител принимали наибольшее разведение сыворотки, при котором происходила агглютинация стандартных эритроцитов в пределах указанного времени наблюдения [3, 15, 19, 23].

Основной исход исследования

Активность естественных групповых α - и β -антител у доноров Сургута.

Этическая экспертиза

Проведение исследования одобрено этическим комитетом Сургутского государственного университета (протокол заседания № 26 от 29.09.2021).

Все участники до включения в исследование добровольно подписали согласие. Обследование проводили с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и директивах Европейского сообщества (8/609 EC). В соответствии с законом персональные данные деперсонизированы.

Статистический анализ

Принципы расчёта размера выборки: размер выборки предварительно не рассчитывали. Выборку формировали с учётом репрезентативности охвата всех ключевых подгрупп (группа крови, пол, годы), мощности анализа (возможность выявить даже небольшие различия), стандартных статистических принципах обеспечивающих надёжность результатов для вывода о популяционных особенностях распределения титров естественных антител.

Методы статистического анализа данных. Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программ Microsoft Office Excel® 2010 (Microsoft, Соединённые Штаты Америки) и SPSS Statistics® 27.0.1. (IBM Corporation, Соединённые Штаты Америки). С помощью критерия Шапиро–Уилка оценивали соответствие распределения показателей нормальному закону. При сравнении выборок статистическую значимость различий определяли с помощью апостериорного критерия Краскела–Уоллиса (с поправкой Бонферрони). Категориальные переменные описаны в виде процентных соотношений. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты исследования

Для получения репрезентативной выборки с минимальной вероятностью статистической ошибки в исследование включено 14 223 донора (табл. 1).

Основные результаты исследования

Мы изучили активность естественных групповых α - и β -антител у доноров Сургута. Встречаемость титров O(I) группы крови разнообразна в связи с присутствием сочетания α - и β -антител.

У мужчин доноров Сургута O(I) группы крови активность естественных антител начиналась с сочетания α и β в титре α 1:2 и β 1:2. Титры α 1:2 в сочетании с β 1:2, β 1:8 выявлены в 2015 и 2017 году, а α 1:2 и β 1:4 только в 2017. Частота встречаемости этих титров за исследованные годы у мужчин низкая и варьирует от 0,006 до 0,017% соответственно. Титры α 1:4 в сочетании с β представлены в шести вариантах с наибольшей частотой встречаемости

Таблица 1. Количество обследованных доноров Сургута

Table 1. Number of donors examined in Surgut

Группа крови Blood type	2015 г. year		2016 г. year		2017 г. year		2023 г. year		Всего Total
	М M	Ж F	М M	Ж F	М M	Ж F	М M	Ж F	
O(I)	1619	896	1407	814	1441	728	1381	746	9032
A(II)	402	320	379	332	302	335	395	276	2741
B(III)	356	336	306	287	361	284	348	216	2494
Всего Total	2377	1552	2092	1433	2104	1347	2124	1238	14 223

Примечание. М — мужчины; Ж — женщины.

Note: M, male; F, female.

и варьировали от 0,06 до 1,32% в 2017 г., что статистически значимо отличалось от показателей других лет. Следующий титр α 1:8 с β -антителами обнаружили в шести вариантах, начиная с сочетания титров α 1:8 и β 1:2, где наибольшая частота встречаемости представлена в 2017 г. Сочетание α 1:8 и β 1:4, а также α 1:8 и β 1:8 чаще отмечали в 2023 году — 3,41 и 3,62% соответственно, что статистически значимо отличалось от показателей других лет. Варианты сочетания α 1:8 с β 1:8, β 1:16, β 1:32 регистрировали во все исследуемые годы без статистически значимых различий. Сочетание титров α 1:8 и β 1:64 выявлено только в 2023 г. в 0,07% случаев. Титр α 1:16 в сочетании с β -антителами обнаружен в семи вариантах. Титры α 1:16 и β 1:2 более распространены в 2017 г. по сравнению с 2023, тогда как частота сочетания α 1:16 и β 1:8 была наибольшей в 2023 г. В то же время наблюдали статистически значимое снижение частоты выявления сочетаний α 1:16 и β 1:16, а также α 1:16 и β 1:32 в 2023 г. Титр α 1:32 в сочетании с β -антителами зарегистрирован в восьми вариантах. Наименьшая частота встречаемости выявлена при самых низких и самых высоких значениях β — 1:2, 1:128 и 1:256. Частота сочетаний α 1:32 и β 1:4, β 1:8 и β 1:64 была ниже в 2023 г. Наибольшее значение зафиксировано для α 1:32 и β 1:16 в 2023 г. — 21,22% случаев, что было статистически значимо по сравнению с предыдущими периодами. У доноров Сургута мужского пола титр α 1:64 в сочетании с β -антителами обнаружен в восьми вариантах, начиная с α 1:64 и β 1:2, зарегистрированное в 2015 г. В 2023 г. наблюдали снижение частоты сочетания α 1:64 и β 1:8. В 2016 г. обнаружили титр α 1:64 в сочетании с активным β 1:256 в 0,007% случаев. Титры α 1:128 и β 1:4 у мужчин доноров выявлены в единичных случаях в 2017 и 2023 гг. Наиболее активный вариант — α 1:128 и β 1:128. Статистически значимых различий в распределении сочетаний α 1:128 с β в исследуемые годы не обнаружено. Более активный титр α 1:256 в сочетании с β -антителами определен в шести вариантах с частотой встречаемости до 0,64%. В 2023 г. у мужчин-доноров Сургута выявлено сочетание титров α 1:512 и β 1:8.

В исследованные годы наблюдали снижение количества вариантов сочетаний титров α и β -антител O(I) группы крови у доноров-мужчин Сургута. В 2023 г. зарегистрировано 35 различных сочетаний, тогда как в 2015–2017 гг. их количество составляло 44, 40, 43 соответственно. На протяжении всех исследованных лет наибольшую частоту встречаемости демонстрировали сочетания с титрами 1:16 и 1:32. Статистически значимые различия в частоте встречаемости титров естественных антител между различными годами среди мужчин-доноров Сургута с I группой крови представлены на рис. 1.

У женщин-доноров Сургута с O(I) группой крови сочетания титров α 1:2 и β выявлены в четырех вариантах в 2016 и 2017 гг. Наиболее частыми из них были титры α 1:2 и β 1:2, обнаруженные в 2017 г. в 0,68% случаев. Другие сочетания — α 1:2 и β 1:4, β 1:8, β 1:16 — выявлены с частотой от 0,12 до 0,14% соответственно. Титр α 1:4 в сочетании с β -антителами зарегистрирован в трёх вариантах с частотой от 0,12 до 0,71%. Титр α 1:8 в сочетании с различными значениями β представлен в семи вариантах. Так, титры α 1:8 и β 1:4 имели статистически значимые отличия и в 2017 г. выявлены с частотой 2,58%. Значимое снижение наблюдали в сочетании титров α 1:8 и β 1:16 в 2023 г. по сравнению с предыдущими годами. Титр α 1:16 в сочетании с β -антителами также демонстрировал различия по годам. Например, титры α 1:16 и β 1:4 встречались в 2017 г., в то время как α 1:16 и β 1:8 достигли наибольшей частоты в 2023. Напротив, титры α 1:16 и β 1:32 в 2023 г. имел статистически значимое снижение частоты по сравнению с прошлыми годами. Кроме того, в 2015 и 2017 гг. регистрировали активные сочетания с титром β 1:256 — α 1:16 и β 1:256 — с частотой 0,11 и 0,14% соответственно. Варианты сочетания титра α 1:32 с β -антителами насчитывали восемь комбинаций. Титры α 1:32 и β 1:2 выявлены только в 2016 г. В сочетании α 1:32 и β 1:16 наблюдали рост частоты встречаемости к 2023 г. Титр α 1:32 в сочетании с активным титром β 1:256 выявлен в 2015 и 2023 гг. с частотой 0,23 и 0,41% соответственно. Сочетания α 1:64 с β обнаружены в семи вариантах. В 2017 г. титры α 1:64 и β 1:4 выявлены в 0,95% случаев, что статистически значимо отличалось

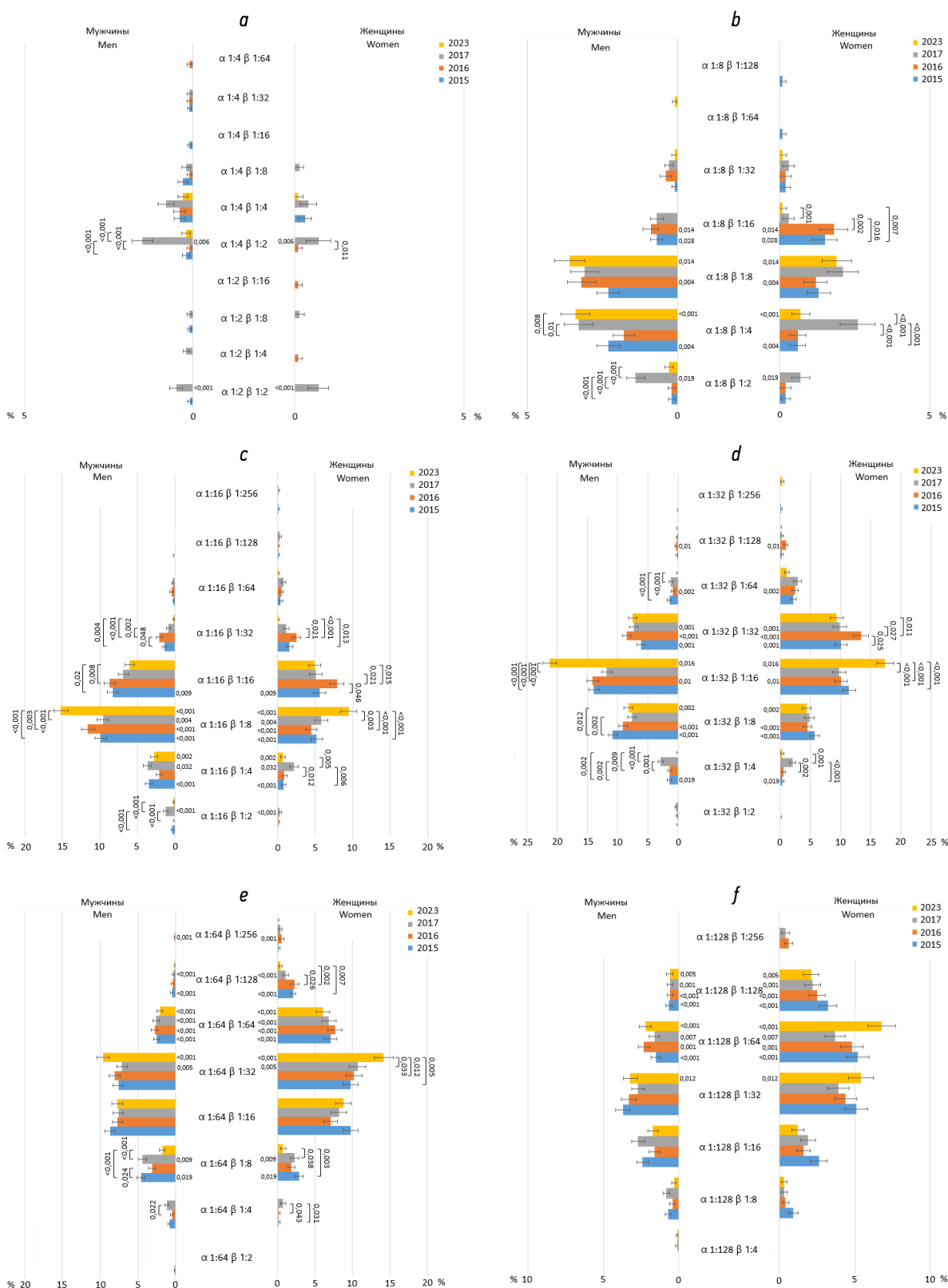


Рис. 1. Частота встречаемости титров естественных антител в разные годы среди доноров с O(I) группой крови в Сургуте: *a* — α 1:2 и 1:4 в сочетании с β -антителами; *b* — α 1:8 в сочетании с β -антителами; *c* — α 1:16 в сочетании с β -антителами; *d* — α 1:32 в сочетании с β -антителами; *e* — α 1:64 в сочетании с β -антителами; *f* — α 1:128 в сочетании с β -антителами; *g* — α 1:256 и 1:512 в сочетании с β -антителами. Столбцы ошибок обозначают стандартное отклонение, указаны статистически значимые различия при сравнении между годами и между мужчинами и женщинами, $p < 0,05$.

Fig. 1. Prevalence of natural antibody titers across different years in type O(I) blood donors in Surgut: *a*, α 1:2 and 1:4 combined with β -antibodies; *b*, α 1:8 combined with β -antibodies; *c*, α 1:16 combined with β -antibodies; *d*, α 1:32 combined with β -antibodies; *e*, α 1:64 combined with β -antibodies; *f*, α 1:128 combined with β -antibodies; *g*, α 1:256 and 1:512 combined with β -antibodies. Error bars represent standard deviation; significant differences are indicated for comparisons across years and between male and female donors, $p < 0.05$.

от показателей 2015 и 2016 гг. Частота встречаемости сочетания титров α 1:64 и β 1:8, β 1:128 снижена в 2023 г., тогда как α 1:64 и β 1:32, напротив, увеличена и показатели статистически значимо отличаются. С титром α 1:128 выявлено шесть вариантов сочетаний. Начальная комбинация — α 1:128 и β 1:8. Вариант α 1:128 и β 1:16 в 2023 г. имел низкую частоту встречаемости, в то время как α 1:128 и β 1:32, β 1:64 в том же году демонстрировали рост по сравнению с предыдущими годами. У женщин-доноров Сургута титр α 1:256 в сочетании с β -антителами выявлен в пяти вариантах. Титры α 1:256 и β 1:16, β 1:32, β 1:64, β 1:128 и β 1:256 встречались с частотой от 0,11 до 1% соответственно. Единичные случаи α 1:512 с β 1:8 и β 1:32 зафиксированы в 2017 и 2023 гг. соответственно с одинаковой частотой — по 0,14%. Это сочетание можно расценивать как наиболее активные формы естественных антител α в комплексе с β .

В 2023 г. у женщин-доноров с O(I) группой крови выявлено меньше сочетаний титров естественных антител системы ABO — 33, тогда как в 2015 г. зафиксировано 38 вариантов, в 2016 — 39, в 2017 — 43 варианта (см. рис. 1). Анализ показал наличие статистически значимых различий в частоте встречаемости титров естественных ABO-антител в зависимости от года проведения исследования.

Между мужчинами- и женщинами-донорами с первой группой крови, проживающими в Сургуте, выявлены статистически значимые различия в частоте встречаемости естественных антител системы ABO.

При исследовании титра естественных антител A(II) группы крови у мужчин-доноров Сургута в разные годы обнаружено, что активность β -антител охватывала весь спектр титров, начиная с 1:2. В 2015–2017 гг. титр 1:2 регистрировали с частотой 1,9, 3,2 и 4,3% соответственно, тогда как в 2023 году его частота значительно выросла до 11,9%. Кроме того, к 2023 г. отмечено незначительное увеличение частоты встречаемости титра 1:4 до 18,5% (по сравнению с 11,7% в 2015 г. и 12 и 15% в последующие годы). Наибольшая частота встречаемости в 2023 г. зафиксирована у титра 1:8. В 2015 и 2017 гг. преобладал титр 1:16, однако в 2023 г. его частота снизилась до 19,7%. В 2016 г. титры 1:8 и 1:16 выявлены с одинаковой частотой — по 27,7%. Также в 2023 г. отмечено снижение встречаемости титра 1:32 до 10,5%, тогда как в предыдущие годы этот показатель варьировал от 13,5 до 20,3%. Титр 1:64 демонстрировал стабильные показатели в течение всех исследуемых лет наблюдения, составляя от 5,6 до 11,4%. В отдельных случаях у мужчин отмечены высокие титры — 1:128 и 1:256. Так, титр 1:128 достигал частоты 1,3% в предыдущие годы и отмечено её повышение до 3,5% в 2023 г. Титр 1:256 выявлен только в единичных случаях, максимальная частота составила 0,5% в 2016 г.

Сравнительный анализ частоты встречаемости титров β -антител у мужчин-доноров A(II) группы крови выявил

статистически значимые различия между исследуемыми годами, особенно в сопоставлении с 2023 г. (рис. 2).

При изучении естественных групповых антител A(II) группы у женщин-доноров Сургута мы определили разные варианты титров, максимальный из которых достигал значения 1:256. В исследуемые годы титр 1:2 выявляли с частотой от 0,6% в 2016 г. до 6% в 2023, что представляет наивысшее значение за это время. Частота встречаемости титра 1:4 варьировала от 5,1 до 13,7% в 2023 г. Титр 1:8 демонстрировал схожие показатели за исследуемые годы — от 22 до 25%, за исключением 2015 и 2017 гг., когда его частота составила 19%. Максимальная частота встречаемости установлена для титра 1:16 — от 26 до 32% в разные годы, однако в 2023 г. этот показатель снижен до 22,6%. Кроме того, в 2023 г. снижена частота встречаемости титра 1:32 по сравнению с предыдущими годами (22–27%). Титр 1:64 сохранял относительную стабильность, встречаясь с частотой от 8,7 до 13,7%. У женщин-доноров выявлен титр 1:128: в 2010 г. его частота составляла 2,6%, а наибольшее значение — 7% (зафиксировано в 2016 г.). В представленном исследовании ежегодно у женщин мы выявляли титр 1:256 с частотой от 0,17 до 1,5%. При сравнении распределения титров естественных антител системы ABO A(II) группы крови у женщин-доноров Сургута в разные годы выявлены статистически значимые различия.

При сравнении частоты встречаемости титров естественных антител A(II) группы крови между мужчинами- и женщинами-донорами Сургута выявлены статистически значимые различия.

Анализ частоты встречаемости естественных антител B(III) группы крови у мужчин-доноров Сургута показал, что титр 1:2 определяли редко: в 2016 и 2023 гг. — 0,98 и 2% соответственно. Титр 1:4 варьировал от 0,5 до 11,3% в 2023 г. В том же году наблюдали высокую частоту встречаемости титра 1:8 — 21,6%, в то время как в предыдущие годы — 10,6–12,7%. Титр 1:16 в 2023 г. регистрировали с частотой 27,6%, при этом наибольшее её значение — 30,6%, зафиксированное в 2015 г. Титр 1:32 демонстрировал наибольшую частоту встречаемости с 2015 по 2017 г., что составило от 30,3 до 31,4%, однако в 2023 г. его частота снижена до 18,4%. Частота титра 1:64 в представленные годы варьировала от 18,8 в 2017 до 21,2% в 2016 г., а в 2023 она составила 11,5%. Титр 1:128 выявляли с частотой от 4,2 до 7% в разные годы. В отдельных случаях у мужчин с B(III) группой крови регистрировали титр 1:256, достигавший максимальной частоты встречаемости в 2016 г. — 1%. Мы не выявили статистически значимые различия в распределении титров естественных антител у доноров мужчин B(III) группы крови в зависимости от года исследования.

У женщин с B(III) группой крови титр 1:2 зафиксирован только в 2023 г. и составил 0,4%. Титр 1:4 продемонстрировал самую высокую частоту встречаемости также в 2023 г. — 8,8%, тогда как в предыдущие годы

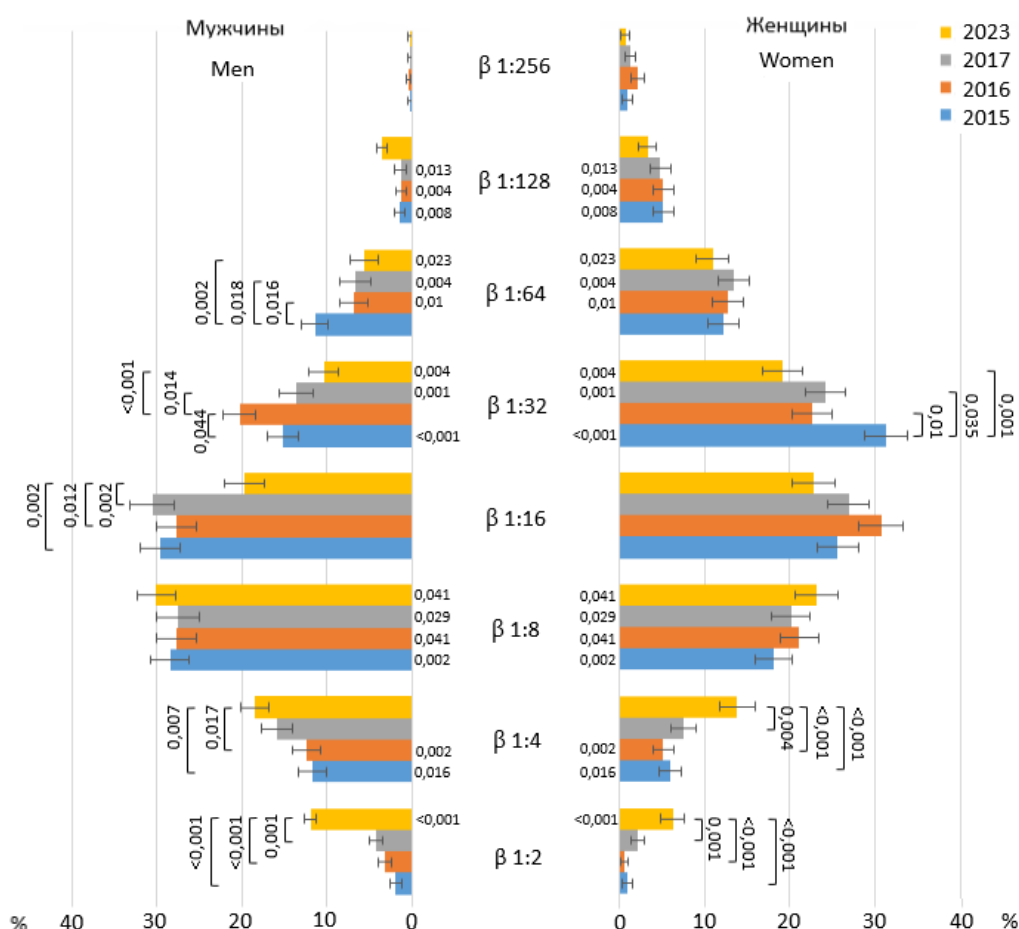


Рис. 2. Частота встречаемости титров естественных антител в разные годы среди доноров с A(II) группой крови в Сургуте. Столбцы ошибок обозначают стандартное отклонение, указаны статистически значимые различия при сравнении между годами и между мужчинами и женщинами, $p < 0,05$.

Fig. 2. Prevalence of natural antibody titers across different years in type A(II) blood donors in Surgut. Error bars represent standard deviation; significant differences are indicated for comparisons across years and between male and female donors, $p < 0.05$.

он варьировал от 1,2 до 2,5% в 2017 г. Естественные α-антитела в титре 1:8 выявляли от 5,9 до 19,9% случаев в 2023 году. Частота встречаемости титра 1:16 варьировала от 20,4 до 28,7% в 2023 г. Этот показатель наиболее высокий в данном титре. Титр 1:32 демонстрировал максимальную частоту встречаемости в 2008 г. — 40,7%, однако к 2023 её значение было наименьшее и составило 24%. Частота встречаемости титра 1:64 составила от 13% в 2023 г. (наименьшее), а максимальная выявлена в 2015 г. — 22,9%. Частота встречаемости титра 1:128 у женщин с B(III) группой крови варьировала от 3% в 2008 г. до 9,7% в 2017 (рис. 3). Самый активный титр в представленных группах 1:256 обнаружен с частотой от 0,2 до 4% в 2017 г. соответственно. Выявлены статистически значимые различия в частоте встречаемости титров естественных антител B(III) группы крови у женщин-доноров Сургута в зависимости от года исследования.

Кроме того, установлены статистически значимые межполовые различия при распределении встречаемости естественных антител B(III) группы крови у доноров Сургута (см. рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

По нашим наблюдениям, у доноров с O(I) группы крови активность естественных антител начиналась с титров 1:2 и 1:4. В 2023 г. отмечено снижение количества вариантов сочетаний титров как у мужчин, так и у женщин. Высокую частоту встречаемости наблюдали в сочетании титров 1:32 и 1:16. У женщин также выявлено увеличение частоты встречаемости титров 1:64 и 1:128. Максимальные значения активности титров у доноров O(I) группы крови достигали 1:512. В A(II) группе крови наибольшую частоту встречаемости наблюдали для титров 1:8 и 1:16 у мужчин, а также 1:16 и 1:32 у женщин. Для B(III) группы крови характерно преобладание титров 1:16 и 1:32 у мужчин, а у женщин 1:32. Максимально зарегистрированный титр в A(II) и B(III) группах составлял 1:256. У мужчин и у женщин наблюдали схожую представленность вариантов титров и тенденцию изменения их процентного соотношения к 2023 г. Отмечены особенности частоты встречаемости титров естественных антител, у женщин чаще выявляли повышенные титры, что позволяет предположить наличие дополнительной стимуляции продукции антител

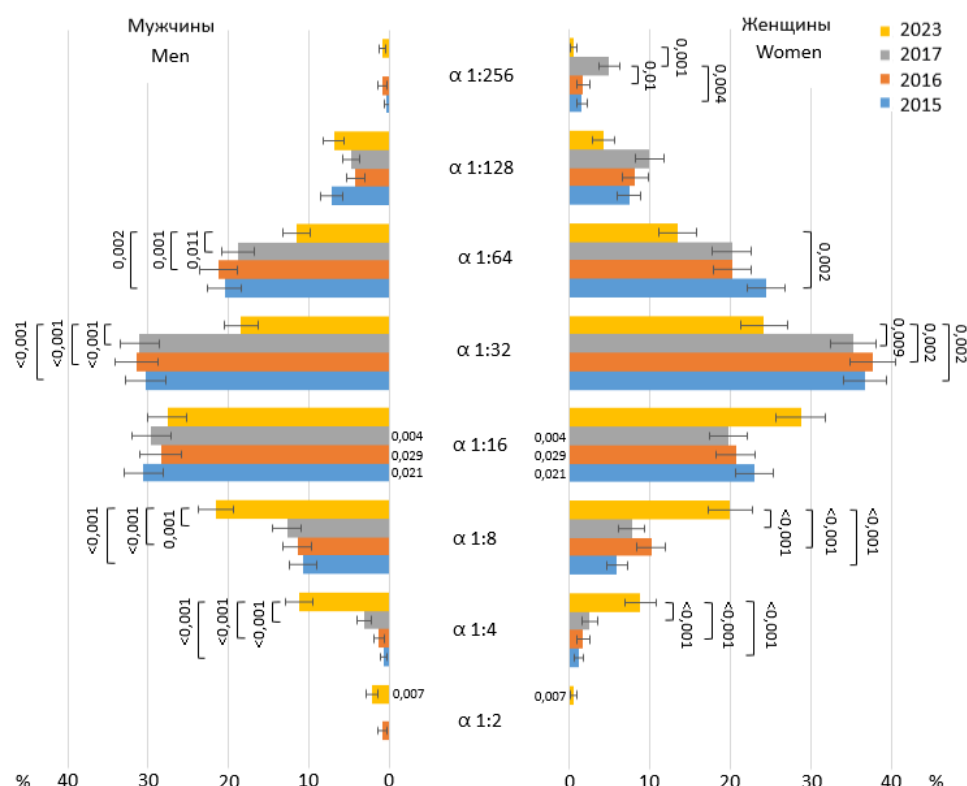


Рис. 3. Частота встречаемости титров естественных антител в разные годы среди доноров с B(III) группой крови в Сургуте. Столбцы ошибок обозначают стандартное отклонение, указаны статистически значимые различия при сравнении между годами и между мужчинами и женщинами, $p < 0,05$.

Fig. 3. Prevalence of natural antibody titers across different years in type B(III) blood donors in Surgut. Error bars represent standard deviation; significant differences are indicated for comparisons across years and between male and female donors, $p < 0.05$.

вследствие перенесённых разнотипных беременностей.

Согласно М.М. Зиганшиной и соавт. [9], естественные антитела играют важную роль в поддержании гомеостаза. Авторы рассматривают их как значимый регуляторный компонент сети идиотип-антиидиотипических взаимодействий, оказывающий как стимулирующее, так и супрессорное влияние на все звенья иммунной системы.

Статистически значимые различия, выявленные в нашем исследовании по сравнению с 2023 г. (постковидный период), могут быть обусловлены последствиями перенесённой инфекции COVID-19. Известно, что фенотип Oαβ(I) обеспечивает устойчивость индивида к инфицированию вирусом SARS-CoV-2 и более лёгкое течение заболевания. Об этом свидетельствуют результаты исследования С.И. Донскова и соавт. [5], указывающие на защитную роль данного фенотипа. В то же время фенотип Aβ(II) ассоциирован с повышенным риском тяжёлого течения COVID-19, осложнений и смертности. Кроме того, зарубежные авторы выдвигают гипотезы о том, что антигены системы ABO на поверхности клеток могут участвовать в процессе проникновения вируса и определять характер иммунного ответа. В частности, наличие антител к антигену A может играть защитную роль, блокируя вирусные частицы и препятствуя их связыванию с рецепторами клеток [5, 11]. Наши результаты подтверждают данные литературы о снижении содержания

антител в сыворотке крови при сохранении их в слюне — как показателя иммунитета слизистой оболочки дыхательных путей. Е.М. Matzhold и соавт. [14] предполагают, что антитела системы ABO участвуют в механизмах защиты от SARS-CoV-2. Тем не менее необходимы дальнейшие исследования молекулярных механизмов, объясняющих вклад естественных антител в патогенез инфекции, вызванной данным вирусом.

Ранее частоту встречаемости естественных антител системы ABO антител изучали Н.Н. Меркулова [24] среди доноров Сургута, Е.А. Хромова [25] — среди представителей этнической группы ханты, С.А. Ильдебенева [26] — в популяции доноров Нижневартовска. В других регионах России аналогичные исследования проводили О.Н. Смирнова и соавт. [27] в Ставропольском крае, а также Л.А. Гусаченко [3] среди этнических групп мокша и эрзя Республики Мордовия. Кроме того, изучены популяции доноров Ирана, Бразилии, Малайзии, Таиланда и др. Однако прямое сравнение полученных результатов затруднено из-за различий в методах титрования, форматах представления данных и объёмах выборки. Это делает некорректным сопоставление с результатами, полученными в популяции доноров Сургута. Учитывая практическую значимость определения содержания естественных антител необходимо разработать единые подходы и методики титрования.

Таким образом, наши результаты подчёркивают необходимость дальнейших исследований, направленных на повышение точности оценки содержания антител системы ABO. Актуальность изучения частоты встречаемости естественных антител сохраняется в связи с недостаточной освещённостью данной темы в современной литературе.

Показатели, полученные в донорской популяции, могут быть репрезентативными для населения города в целом, поскольку донорское движение охватывает широкий спектр социально и физиологически активных лиц. Иммунная система доноров Сургута активно реагирует выработкой естественных нормальных групповых антител, что имеет большое значение при изучении физиологической структуры популяции в конкретных условиях среды. Изучение естественных нормальных антител позволяет установить различие или сходство отдельных физиологических показателей и физиологического статуса популяций в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование демонстрирует модификацию постоянства внутренней среды организма в постпандемийный период в виде изменения частоты встречаемости титров естественных α - и β -антител.

Мы выявили высокую частоту встречаемости естественных антител в титрах 1:32, 1:16 и 1:8, а также обнаружили случаи активных титров α - и β -антител с содержанием 1:128 и 1:256. Установлены гендерные различия в частоте распространения титров естественных антител: у мужчин с A(II) группой крови чаще регистрировали титры 1:8 и 1:16, тогда как у женщин — 1:16 и 1:32. В донорской популяции с B(III) группой крови титры 1:16 и 1:32 чаще встречали у мужчин, а у женщин преобладали титры 1:32. Таким образом, мы можем говорить о наличии половых различий в содержании естественных антител у доноров Сургута. Сравнительный анализ данных за 2015, 2016, 2017 и 2023 гг. показал, что в постковидный период произошло смещение в сторону преобладания титров с более низкими значениями, что, возможно, связано с особенностями иммунного ответа, сформированного после перенесённой инфекции SARS-CoV-2.

Мы рассмотрели активность естественных антител с точки зрения адаптации популяции к новым условиям среды и поддержания иммунологического гомеостаза с позиции физиологической адаптированности популяции. Это является одной из задач адаптационной физиологии и экологии, а также оценки экологического своеобразия состояния популяции. Кроме этого, значение участия естественных антител системы ABO в гомеостазе изучено недостаточно, поэтому процесс антителообразования требует дополнительного изучения. Рассмотрение данного, ранее недостаточно изученного, аспекта естественной

иммунизации представляет важность как для дальнейшего совершенствования прикладной трансфузиологии, так и для установления общепопуляционных закономерностей антителообразования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.А. Гусаченко — сбор данных, анализ и интерпретация результатов, обзор литературы, подготовка и написание текста рукописи; О.Г. Литовченко — концепция и дизайн исследования, обзор литературы, редактирование текста рукописи; Р.Р. Габидуллина — сбор данных, анализ и интерпретация результатов; Ю.А. Чемакин — концепция и дизайн исследования, обзор литературы, редактирование текста рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).
Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом Сургутского государственного университета (протокол заседания № 26 от 29.09.2021).

Источники финансирования. Отсутствуют.

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

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

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье.

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

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: L.A. Gusachenko: data curation, formal analysis, investigation, writing—original draft; O.G. Litovchenko: conceptualization, methodology, investigation, writing—review & editing; R.R. Gabidullina: data curation, formal analysis; Yu.A. Chemakin: conceptualization, methodology, investigation, writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of Surgut State University (Protocol No. 26 of September 29, 2021).

Funding sources: No funding.

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

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

Data availability statement: All data generated during this study are available in this article.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Agadzhanjan NA, Batocyrenova TE, Semenov YuN. *Ecological, physiological and ethnic features of human adaptation to various environmental conditions: monograph*. Vladimir: Vladimirskij gos. un-t; 2009. (In Russ.) ISBN: 978-5-9984-0004-9 EDN: QKSMKX
2. Agadzhanjan NA, Makarova II. Ethnic aspect of adaptative physiology and population morbidity. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(3):3–13. doi: 10.17816/humeco17248 EDN: RYIEWT
3. Gusachenko LA, Litovchenko OG. Natural ABO antibodies in moksha and erzya ethnic groups of the Mordovia Republic. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2020;27(8):26–32. doi: 10.33396/1728-0869-2020-8-26-32 EDN: FSVJBQ
4. Porunova AK, Morozova VV, Tsirolnikova IE, et al. Titration method of ABO antibodies with the use of modern gel technology in ABO-incompatible transplantation. *Russian Journal of Transplantation and Artificial Organs*. 2015;XVI(4):40–44. doi: 10.15825/1995-1191-2014-4-40-44 EDN: TGFFJZ
5. Donskov SI, Bulanov AY, Simarova IB, et al. ABO and rhesus blood groups as a risk factor for ARVI COVID-19. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2021;66(11):661–665. doi: 10.51620/0869-2084-2021-66-11-661-665 EDN: GBSPJZ
6. Haghighi HR, Gong J, Gyles CL, et al. Probiotics stimulate production of natural antibodies in Chickens. *Clinical and Vaccine Immunology*. 2006;13(9):975–980. doi: 10.1128/CVI.00161-06
7. Parmentier HK, De Vries Reilingh G, Lammers A. Decreased specific antibody responses to α -Gal-conjugated antigen in animals with preexisting high levels of natural antibodies binding α -Gal Residues. *Poultry Science*. 2008;87(5):918–926. doi: 10.3382/ps.2007-00487
8. Khasbiullina NR, Bovin NV. Hypotheses of the origin of natural antibodies: a glycobiochemist's opinion. *Biochemistry*. 2015;80(7):980–997. EDN: UCDGHB
8. Ziganshina MM, Bovin NV, Sukhikh GT. Natural antibodies as a key element of the mechanism supporting homeostasis in immune system. *Immunologiya*. 2013;5:277–282. EDN: RMTUZH
9. Mineeva NV, Krobinets II, Gavrovskaya SV, et al. Blood group genotyping in multi-transfused patients. *Kazan medical journal*. 2021;102(5):621–625. doi: 10.17816/KMJ2021-621 EDN: DIOOWO
10. Zubareva LM, Donskov SI. Blood groups and acute respiratory viral infection COVID-19. *Russian journal of hematology and transfusiology*. 2022;67(1):122–130. doi: 10.35754/0234-5730-2022-67-1-122-130 EDN: BDFRMJ
11. Ray JG, Schull MJ, Vermeulen MJ, Park AL. Association between ABO and Rh blood groups and SARS-CoV-2 infection or severe COVID-19 illness. *Annals of Internal Medicine*. 2021;174(3):308–315. doi: 10.7326/m20-4511 EDN: WBQVMB
12. Grujić J, Budakov-Obradović Z, Klačnja J, et al. Blood group variations in COVID-19 Convalescent plasma and regular blood donors: a comparative analysis in the Serbian population. *Microorganisms*. 2024;12(5):915. doi: 10.3390/microorganisms12050915 EDN: BWZVVT
13. Matzhold EM, Körmöczy GF, Banfi C, et al. Lower Levels of ABO Anti-A and Anti-B of IgM, IgG and IgA isotypes in the serum but not the saliva of COVID-19 convalescents. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(15):4513. doi: 10.3390/jcm11154513 EDN: XITRRT
14. Flegel WA. Pathogenesis and mechanisms of antibody-mediated hemolysis. *Transfusion*. 2015;55(S2):S47–S58. doi: 10.1111/trf.13147 EDN: MHKYZS
15. Robbins M, Huish S, Griffiths A, et al. Influence of donor age, sex and ethnicity on high-titre anti-A and -B: Review of 6 million donations from two national blood providers. *Vox Sanguinis*. 2024;119(9):987–995. doi: 10.1111/vox.13697 EDN: LCSWJU
16. de França ND, Poli MC, Ramos PG, et al. Titers of ABO antibodies in group O blood donors. *Rev Bras Hematol Hemoter*. 2011;33(4):259–262. doi: 10.5581/1516-8484.20110073
17. Denomme GA, Anani WQ. ABO titers: harmonization and identifying clinically relevant ABO antibodies. *Transfusion*. 2020;60(3):441–443. doi: 10.1111/trf.15726 EDN: RXHKMJ
18. Park ES, Jo KI, Shin JW, et al. Comparison of total and IgG ABO antibody titers in healthy individuals by using tube and Column Agglutination Techniques. *Annals of Laboratory Medicine*. 2014;34(3):223–229. doi: 10.3343/alm.2014.34.3.223
19. Yin S, Tan Q, Yang Y, et al. Transplant outcomes of 100 cases of living-donor ABO-incompatible kidney transplantation. *Chinese Medical Journal*. 2022;135(19):2303–2310. doi: 10.1097/cm9.0000000000002138 EDN: DZWHCX
20. Krishnan N, Higgins R, Short A, et al. Kidney Transplantation Significantly Improves Patient and Graft Survival Irrespective of BMI: A Cohort Study. *American Journal of Transplantation*. 2015;15(9):2378–2386. doi: 10.1111/ajt.13363
21. Won D, Choe W, Kim H, et al. Significance of isoagglutinin titer in ABO-incompatible kidney transplantation. *Journal of Clinical Apheresis*. 2013;29(5):243–250. doi: 10.1002/jca.21312
22. Mineeva NV. *Human blood groups: fundamentals of immunohematology*. 2nd edition. Saint Petersburg: Gangut; 2020. (In Russ.) ISBN: 978-5-85875-600-2 EDN: ZWWHNF
23. Merkulova NN. *Prevalence, physiological and immunoserological characteristics of natural and immune group antibodies of the ABO system in residents of the Middle Ob region* [dissertation]. Moscow; 1999. (In Russ.) EDN: QDDCAZ
24. Hromova EA. *Immunoserological characteristics of the blood of the aborigines of the Middle Ob region* [dissertation abstract]. Tyumen; 2003. 22 p. (In Russ.) EDN: NHILYV
25. Ildebeneva SA. Features of distribution of immunoserological characteristics of blood of Khanty and new settlers of the northern city [dissertation]. Naberezhnye Chelny; 2013. (In Russ.) EDN: SUWXPL
26. Smirnova ON, Bondar TP, Hlipavka NA. Alloimmunization with group antigens of erythrocytes depending on the type of activity and geographic location of donors. *Vestnik sluzhby krovi Rossii*. 2012;1:6–8. (In Russ.) EDN: OWYXFB

ОБ АВТОРАХ

* **Гусаченко Людмила Александровна**, канд. биол. наук;
адрес: Россия, 628403, Сургут, пр-кт Дружбы, д. 4;
ORCID: 0000-0002-1641-9856;
eLibrary SPIN: 5855-6368;
e-mail: LA264648@mail.ru

Литовченко Ольга Геннадьевна, д-р биол. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-8368-2590;
eLibrary SPIN: 5908-4625;
e-mail: olgalitovchenko@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Lyudmila A. Gusachenko**, Cand. Sci. (Biology);
address: 4 Druzhby ave, Surgut, Russia, 628403;
ORCID: 0000-0002-1641-9856;
eLibrary SPIN: 5855-6368;
e-mail: LA264648@mail.ru

Olga G. Litovchenko, Dr. Sci. (Biology), Professor;
ORCID: 0000-0002-8368-2590;
eLibrary SPIN: 5908-4625;
e-mail: olgalitovchenko@mail.ru

Габидуллина Розалия Рузилевна;

ORCID: 0009-0008-4213-5241;

e-mail: yarosalija@yandex.ru

Чемакин Юрий Алексеевич;

ORCID: 0009-0002-2329-717X;

eLibrary SPIN: 6676-7057;

e-mail: ychemakin1761@mail.ru

Rozaliya R. Gabidullina;

ORCID: 0009-0008-4213-5241;

e-mail: yarosalija@yandex.ru

Yuriy A. Chemakin;

ORCID: 0009-0002-2329-717X;

eLibrary SPIN: 6676-7057;

e-mail: ychemakin1761@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Реполяризация желудочков сердца у практически здоровых молодых мужчин при кратковременном воздействии нормобарической изокапнической и гиперкапнической гипоксии

Е.В. Заменина¹, Н.И. Ивонина¹, А.А. Фокин², И.М. Рощевская¹

¹ Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия;

² Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, Сыктывкар, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Воздействие гипоксического фактора на функционирование кардиореспираторной системы человека изучено достаточно хорошо. Комбинированное воздействие гипоксического и гиперкапнического факторов снижает степень проявления неблагоприятных эффектов кислородной недостаточности во всех функциональных системах организма и субъективно улучшает переносимость острой гипоксии.

Цель. Изучить электрическую активность сердца в период реполяризации желудочков при воздействии экзогенной нормобарической гипоксии с различным содержанием углекислого газа во вдыхаемом воздухе у практически здорового нетренированного человека.

Материалы и методы. Проведено экспериментальное одноцентровое проспективное исследование. В него включены практически здоровые нетренированные мужчины молодого возраста. Среди критериев исключения выделяли наличие хронической бронхолегочной патологии, сердечно-сосудистых заболеваний, а также факта недавно перенесённой острой респираторной вирусной инфекции. Участники исследования рандомно разделены на две группы в зависимости от изучаемого воздействия: 1-я группа — экзогенной изокапнической гипоксии; 2-я группа — экзогенной гиперкапнической гипоксии. Изокапническая и гиперкапническая гипоксия смоделированы путём дыхания через лицевую маску в течение 15 мин. По электрическому полю сердца анализировали амплитудно-временные характеристики положительных и отрицательных экстремумов в фазу реполяризации желудочков по данным электрокардиограммы, полученной во II стандартном отведении, определяли длительность интервалов QT , $J-T_{peak}$, $T_{peak}-T_{end}$, скорректированных по Базетту.

Результаты. Установлено, что изокапническая гипоксия вызывает более значительное изменение SpO_2 и частоты сердечных сокращений по сравнению с гиперкапнической. При сопоставимых значениях SpO_2 анализ временных характеристик реполяризации показал, что гиперкапнический компонент в гипоксической смеси нивелирует степень изменения длительности практически всех исследуемых интервалов электрокардиограммы.

Заключение. Проведённое исследование процесса реполяризации желудочков сердца при воздействии гипоксии с различным содержанием CO_2 показало более выраженное стрессовое влияние изокапнической гипоксии на электрическую активность сердца по сравнению с гиперкапнической у практически здоровых молодых мужчин.

Ключевые слова: электрическое поле сердца; ЭКГ; нормобарическая изокапническая гипоксия, гиперкапническая гипоксия.

Как цитировать:

Заменина Е.В., Ивонина Н.И., Фокин А.А., Рощевская И.М. Реполяризация желудочков сердца у практически здоровых молодых мужчин при кратковременном воздействии нормобарической изокапнической и гиперкапнической гипоксии // Экология человека. 2025. Т. 32, № 2. С. 123–134. DOI: 10.17816/humeco643503 EDN: WQWAIA

Ventricular Repolarization in Apparently Healthy Young Men Under Short-Term Normobaric Isocapnic and Hypercapnic Hypoxic Exposure

Elena V. Zamenina¹, Natalya I. Ivonina¹, Andrei A. Fokin², Irina M. Roshchevskaya¹

¹ Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia;

² Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The effects of hypoxic exposure on the human cardiorespiratory system have been extensively studied. Combined hypoxic and hypercapnic exposure has been shown to reduce the severity of adverse outcomes associated with oxygen deficiency across all functional systems, while also improving subjective tolerance to acute hypoxia.

AIM: To assess cardiac electrical activity during the ventricular repolarization phase under exogenous normobaric hypoxic exposure with different inspired carbon dioxide levels in apparently healthy, untrained individuals.

METHODS: A prospective, single-center, experimental study was conducted. The study included apparently healthy, untrained young men. Exclusion criteria: chronic pulmonary or cardiovascular diseases and recent acute respiratory viral infections. Participants were randomly assigned to one of two groups based on the type of exposure: exogenous isocapnic hypoxia (Group 1) or exogenous hypercapnic hypoxia (Group 2). Isocapnic and hypercapnic hypoxia were simulated by breathing through a facial mask for 15 minutes. The cardiac electric field was used to assess the amplitude and temporal characteristics of positive and negative extrema during the ventricular repolarization phase based on lead II electrocardiogram findings. The duration of QT , $J-T_{peak}$, and $T_{peak}-T_{end}$ intervals with Bazett's correction was measured.

RESULTS: Isocapnic hypoxia was found to cause more pronounced changes in SpO_2 and heart rate compared to hypercapnic hypoxia. At comparable SpO_2 levels, analysis of the temporal characteristics of ventricular repolarization demonstrated that the hypercapnic component of the hypoxic gas mixture reduced changes in the duration of nearly all examined electrocardiogram intervals.

CONCLUSION: The study of ventricular repolarization under hypoxic exposure with various CO_2 levels found that isocapnic hypoxia had a more pronounced stress effect on cardiac electrical activity than hypercapnic hypoxia in apparently healthy young men.

Keywords: cardiac electric field; ECG; normobaric isocapnic hypoxia; hypercapnic hypoxia.

To cite this article:

Zamenina EV, Ivonina NI, Fokin AA, Roshchevskaya IM. The ventricular repolarization of the heart in healthy young men under short-term exposure of the normobaric isocapnic and hypercapnic hypoxia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):123–134. DOI: 10.17816/humeco643503 EDN: WQWAIA

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco643503>

EDN: WQWAIA

几乎健康的年轻男性在短暂暴露于常压等碳酸血症性与高碳酸血症性低氧条件下心室复极反应的研究

Elena V. Zamenina¹, Natalya I. Ivonina¹, Andrei A. Fokin², Irina M. Roshchevskaya¹¹ Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia;² Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia

摘要

论证。低氧因素对人体心肺系统功能的影响已有充分研究。低氧与高碳酸血症的联合影响可降低机体各功能系统对缺氧状态的不良反应，并在主观上提高对急性低氧的耐受性。

目的。探讨在吸入不同二氧化碳浓度的常压低氧条件下，几乎健康的未训练年轻男性在心室复极期的心脏电活动变化。

方法。开展了一项单中心前瞻性实验研究。研究对象为几乎健康、无训练的青年男性。排除标准包括慢性支气管肺疾病、心血管疾病及近期急性呼吸道感染史。受试者按所接受的干预随机分为两组：第1组接受等碳酸血症性低氧暴露，第2组接受高碳酸血症性低氧暴露。等碳酸血症性与高碳酸血症性低氧状态通过佩戴面罩吸入混合气体15分钟进行模拟。根据II导联心电图数据，分析心室复极期心电图正负极值的振幅-时间参数，测量QT、J - Tpeak和Tpeak - Tend间期，并根据Bazett公式进行校正。

结果。与高碳酸血症性低氧相比，等碳酸血症性低氧引起SpO₂和心率的变化更为明显。在两组SpO₂值相近的情况下，复极期时间参数的分析表明，低氧混合气体中的高碳酸成分可抵消几乎所有心电图所测间期时长的变化程度。

结论。所开展的研究显示，在不同CO₂含量的低氧暴露下，等碳酸血症性低氧相比高碳酸血症性低氧对几乎健康的年轻男性心室复极过程中的心脏电活动产生了更明显的应激影响。

关键词：心电图；心电图；常压等碳酸血症性低氧；高碳酸血症性低氧。

引用本文：

Zamenina EV, Ivonina NI, Fokin AA, Roshchevskaya IM. 几乎健康的年轻男性在短暂暴露于常压等碳酸血症性与高碳酸血症性低氧条件下心室复极反应的研究. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):123–134. DOI: 10.17816/humeco643503 EDN: WQWAIA

收到: 27.12.2024

接受: 03.06.2025

发布日期: 17.06.2025

ОБОСНОВАНИЕ

Воздействие гипоксического фактора на функционирование кардиореспираторной системы человека изучено достаточно хорошо. Выделены основные направления развития гипоксической стресс-реакции организма при различных концентрациях экзогенного кислорода. Профилактические и лечебные свойства гипоксических газовых смесей, применяемых как в прерывистом, так и пролонгированном режиме (гипокситерапия), находят широкое использование. Сочетание газов с различным содержанием кислорода применяют в зависимости от конкретных исследовательских или клинических задач [1–4]. Комбинированное воздействие гипоксического и гиперкапнического факторов снижает степень проявления неблагоприятных эффектов кислородной недостаточности во всех функциональных системах организма и субъективно улучшает переносимость острой гипоксии [5].

Наиболее зависимыми от концентрации эндогенного кислорода являются мозг и сердце, потребляющие больше половины всего кислорода, поступающего в организм [3]. Непрерывная ритмическая активность сердца обуславливает высокую чувствительность миокарда к уменьшению парциального давления кислорода в крови, его снижение подавляет электрогенез в кардиомиоцитах [6]. При гипоксии миокарда на электрокардиограмме (ЭКГ) преимущественно отмечают изменения реполяризации желудочков, однако они малоспецифичны. Вовлечение дополнительного количества регистрирующих электродов для проведения электрокардиографии на поверхности торса позволяет получить больше информации об электрической активности сердца в норме и при моделировании различных стресс-воздействий [7–9]. Исследования электрического поля сердца с использованием множественной синхронной регистрации кардиоэлектрических потенциалов на поверхности грудной клетки у здоровых людей в покое [10–12], спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса, а также при воздействии физической нагрузки [13–15] подтвердили высокую информативность данного метода для оценки функционального состояния миокарда. Результаты также свидетельствуют о перспективности кардиоэлектротопографического подхода при изучении влияния изменённого кислородного режима на деятельность сердца.

Цель исследования. Изучить электрическую активность сердца в период реполяризации желудочков при воздействии экзогенной нормобарической гипоксии с различным содержанием углекислого газа во вдыхаемом воздухе у практически здорового нетренированного человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено экспериментальное одноцентровое проспективное исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- практически здоровые нетренированные мужчины;
- возраст — от 17 до 23 лет.

Критерии исключения:

- наличие хронической бронхолёгочной патологии;
- наличие сердечно-сосудистых заболеваний;
- недавно перенесённая острая респираторная вирусная инфекция.

Условия проведения

Исследование выполнено на базе отдела сравнительной кардиологии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук».

Продолжительность исследования

Исследование проведено в период сентябрь–октябрь 2022 г.

Воздействие экзогенной нормобарической изокапнической и гиперкапнической гипоксии

В исходных условиях у участников исследования в положении сидя в кресле регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС) и сатурацию гемоглобина крови (SpO_2) с использованием пульсоксиметра MySign® S (EnviteC-Wismar GmbH, Германия). Кроме того, регистрировали ЭКГ в стандартных отведениях от конечностей, а также кардиоэлектрические потенциалы на поверхности грудной клетки. Затем участника эксперимента переводили на дыхание гипоксической смесью через лицевую маску.

Воздействие изокапнической гипоксии осуществляли в течение 15 мин в условиях нормального атмосферного давления при помощи изокапнической гипоксической газовой смеси (содержание O_2 и CO_2 — 12–13 и 0,04% соответственно). Использовали гипоксикатор OXYTERRA® (ООО «OXYTERRA», Россия) и модифицированный гипоксикатор Kröber® O_2 (Kröber Medizintechnik, Германия) (свидетельство на полезную модель № 24098 от 27 июля 2002 г.). Содержание O_2 в газовой смеси контролировали при помощи кислородного датчика (EnviteC-Wismar GmbH, Германия). Участник эксперимента дышал газовой смесью 15 мин, затем маску снимали и он переходил на дыхание атмосферным воздухом в течение 5 мин.

Воздействие гиперкапнической гипоксии осуществляли в течение 15 мин с использованием метода возвратного дыхания через лечебно-диагностический тренажёр

«Карбоник» (ООО НПК «Карбоник», Россия). Данный прибор создаёт гиперкапническую гипоксию (содержание O_2 и CO_2 до 12 и 5–8% соответственно) в альвеолярном воздухе путём автоматического регулирования объёма мёртвого пространства. При помощи программного обеспечения Carbonic Software® v. 2.00 (ООО НПК «Карбоник», Россия) и кислородного датчика выполняли мониторинг концентрации O_2 и CO_2 в выдыхаемом воздухе. Участник эксперимента дышал газовой смесью 15 мин, затем маску снимали и он переходил на дыхание атмосферным воздухом в течение 5 мин.

Регистрацию ЧСС, SpO_2 , ЭКГ во II стандартном отведении и кардиоэлектрических потенциалов проводили на каждой минуте исследования.

Основной исход исследования

Оценка электрической активности сердца в период реполяризации желудочков при воздействии экзогенной нормобарической гипоксии с различным содержанием углекислого газа во вдыхаемом воздухе.

Анализ в группах

Участники исследования случайно разделены на две группы в зависимости от изучаемого воздействия:

- 1-я группа — экзогенной изокапнической гипоксии;
- 2-я группа — экзогенной гиперкапнической гипоксии.

Многоканальное электрокардиографическое картирование

Электрическую активность сердца у обследуемых лиц изучали при помощи многоканального электрокардиографического картирования (ЭКГ-картирования) на поверхности тела с использованием автоматизированной системы для синхронной регистрации кардиоэлектрических потенциалов в период реполяризации желудочков сердца. Кардиоэлектрические потенциалы регистрировали на поверхности тела людей:

- в исходном состоянии;
- при воздействии обоих типов гипоксий;
- в период восстановления (дыхание атмосферным воздухом).

Униполярную ЭКГ регистрировали в положении сидя от 64 электродов, равномерно расположенных на вентральной и дорсальной сторонах туловища от уровня ключиц до нижнего края грудной клетки. Электроды расположены в 8 рядов по 8 в каждом (рис. 1, а). Синхронно с грудными записывали ЭКГ в стандартных биполярных отведениях от конечностей (I, II, III), в качестве референсного электрода для униполярных отведений с поверхности туловища использовали центральную терминаль Вильсона. После регистрации кардиоэлектрической активности строили эквипотенциальные моментные карты, отражающие распределение потенциалов электрического

поля сердца (ЭПС) на прямоугольном изображении поверхности туловища, где левая сторона соответствовала вентральной, а правая — дорсальной стороне тела (см. рис. 1, б).

На эквипотенциальных моментных картах анализировали амплитудные характеристики положительных и отрицательных экстремумов ЭПС (A_{max} и A_{min} соответственно) и время достижения ими максимальных амплитуд в период реполяризации желудочков (T_{max} и T_{min} соответственно) относительно пика зубца R во II стандартном отведении, стабильность которого проверяли во всех конечностных и грудных отведениях перед началом анализа. Временные показатели экстремумов корригированы с интервалом RR, который рассчитывали по трём сердечным циклам. По данным ЭКГ во II стандартном отведении определяли корригированные по Базетту длительности:

- интервала QT;
- интервал от точки J до пика зубца T ($J-T_{peak}$);
- интервал от пика зубца T до его окончания ($T_{peak}-T_{end}$).

Этическая экспертиза

Исследование проведено в соответствии с принципами биомедицинской этики и одобрено локальным этическим комитетом отдела сравнительной кардиологии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук».

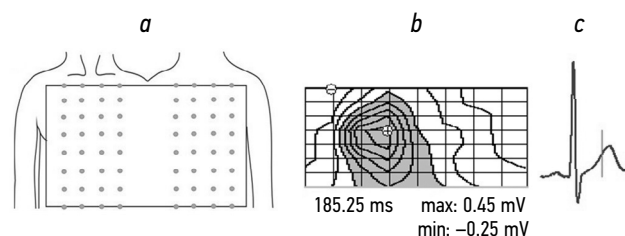


Рис. 1. Схема расположения электродов на поверхности грудной клетки человека (а) и эквипотенциальная моментная карта распределения кардиоэлектрических потенциалов на поверхности грудной клетки в период реполяризации желудочков сердца (б): закрашены области положительных потенциалов; знаки «+» и «-» на карте обозначают локализацию положительного и отрицательного экстремумов соответственно; под картой указано время в мс (ms) относительно пика зубца R во II стандартном отведении; указаны максимальная амплитуда положительного (max) и отрицательного (min) кардиопотенциалов в милливольт (mV). Левая сторона карты соответствует передней (вентральной), а правая — задней (дорсальной) сторонам грудной клетки. с — электрокардиограмма во II стандартном отведении с маркером времени (вертикальная черта).

Fig. 1. Electrodes' positions diagram on the surface of the human chest (a) and equipotential map of cardioelectric potential distribution on the chest surface during the ventricular repolarization phase (b): areas of positive potentials are shaded; the "+" and "-" symbols indicate the locations of the positive and negative extrema, respectively; the time (ms) relative to the peak of the R wave in standard lead II is indicated below the map; the maximum amplitude of the positive (max) and negative (min) cardiopotentials is shown in millivolts (mV). The left side of the map corresponds to the anterior (ventral), and the right side to the posterior (dorsal) chest surface. c, standard lead II electrocardiogram with time marker (vertical line).

(протокол № 1 от 06.04.2022). Участники исследования предварительно ознакомлены с его целью, возможными субъективными ощущениями при проведении гипоксического воздействия, от каждого из них получено письменное согласие.

Статистический анализ

Все непрерывные данные проанализированы с помощью программного пакета Statistica® версия 10.0 (StatSoft Inc., Соединённые Штаты Америки) и представлены в виде $M \pm SD$, где M — среднее арифметическое, SD — стандартное отклонение. Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для сравнения средних значений одного и того же параметра в различные периоды времени применяли дисперсионный анализ для повторных измерений (RM-ANOVA). В случае выявления значимого влияния фактора времени на изучаемый параметр проводили апостериорный анализ (Post hoc test) с помощью критерия Даннета. Для межгруппового сравнения показателей использовали непарный тест Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты исследования

В исследовании приняли добровольное участие 25 практически здоровых мужчин (средний возраст — $20,7 \pm 0,9$ года; масса тела — $76,5 \pm 7,8$ кг, длина тела — $178,4 \pm 5,4$ см). Участники исследования рандомно разделены на две группы в зависимости от изучаемого

воздействия: 1-я группа — экзогенной изокапнической гипоксии ($n=15$); 2-я группа — экзогенной гиперкапнической гипоксии ($n=10$).

Практически у всех участников 1-й группы изменения ЧСС и SpO_2 были более выражены по сравнению с мужчинами 2-й группы. В 1-й группе максимальный прирост ЧСС наблюдали на 7-й мин гипоксии, он составил 29,2%, а наибольшее снижение SpO_2 — на 12-й мин, достигнув 22,4%. Во 2-й группе максимальный прирост ЧСС фиксировали на 10-й мин (8,7%), а минимальное значение SpO_2 — на 15-й мин (снижение на 7,7%). Увеличение ЧСС и снижение SpO_2 на каждой минуте воздействия гипоксии в двух группах были статистически значимыми. Изменения ЧСС и SpO_2 у мужчин 2-й группы характеризовались большей однородностью и меньшим разбросом в сравнении с 1-й группой (рис. 2).

Основные результаты исследования

Временные параметры электрической активности сердца при различных типах гипоксического воздействия при сопоставимом снижении сатурации гемоглобина крови

На 1-й и 3-й мин у мужчин 1-й и 2-й группы соответственно отмечено практически сопоставимое снижение SpO_2 относительно исходного уровня (см. рис. 2). С целью оценки влияния гиперкапнического фактора в гипоксической смеси на реполяризацию миокарда желудочков сердца проведён сравнительный анализ амплитудных и временных электрокардиографических характеристик мужчин 1-й и 2-й групп на 1-й и 3-й мин соответственно (табл. 1).

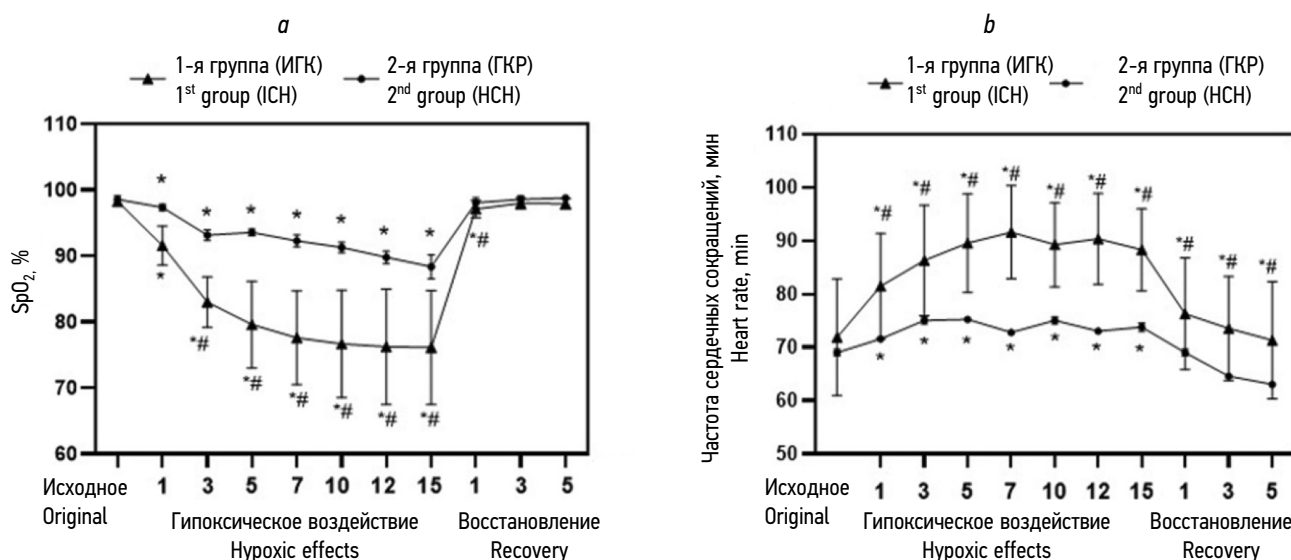


Рис. 2. Насыщение крови кислородом (а) и частота сердечных сокращений (б) при разных видах гипоксического воздействия относительно исходного состояния у участников исследования: * — статистически значимое отличие по сравнению с исходными показателями ($p < 0,05$); # — статистически значимое отличие показателей между группами ($p < 0,05$); ИКГ — изокапническая гипоксия; ГКГ — гиперкапническая гипоксия.

Fig. 2. Blood oxygen saturation (a) and heart rate (b) during different types of hypoxic exposure relative to baseline in study participants: *, significant difference compared to baseline ($p < 0.05$); #, significant difference between groups ($p < 0.05$); ICH, isocapnic hypoxia; HCH, hypercapnic hypoxia.

Таблица 1. Параметры электрокардиограммы во II отведении от конечностей и электрического поля сердца, исследуемые в группах**Table 1.** Parameters of limb lead II electrocardiogram and cardiac electric field assessed in the study groups

Параметры Parameters	1-я группа Group 1	2-я группа Group 2	Значение непарного t-критерий Стьюдента Unpaired Student's t-test	p
Временные характеристики Temporal characteristics				
$J-T_{peak}$, мс $J-T_{peak}$, ms	230,6±11,6	229,0±20,0	t=0,21, df=23	0,83
$T_{peak}-T_{end}$, мс $T_{peak}-T_{end}$, ms	81,7±2,7	82,8±10,4	t=0,32, df=23	0,74
QT, мс QT, ms	417,7±8,4	415,9±29,4	t=0,063, df=23	0,95
T_{max} , мс T_{max} , ms	246,6±8,2	261,8±20,6	t=2,18, df=23	0,039 ¹
T_{min} , мс T_{min} , ms	280,6±9,6	282,3±17,0	t=0,93, df=23	0,36
Амплитудные характеристики Amplitude characteristics				
T, мВ T, mV	0,45±0,24	0,43±0,21	t=0,37, df=23	0,71
A_{max} , мВ A_{max} , mV	0,79±0,08	0,83±0,10	t=0,60, df=23	0,55
A_{min} , мВ A_{min} , mV	-0,49±0,07	-0,41±0,04	t=1,73, df=23	0,09

Примечание. Временные и амплитудные характеристики указаны в группах при одинаковом снижении SpO₂: в 1-й и 2-й группах на 1-й и 3-й мин гипоксического воздействия соответственно; значения представлены в виде M±SD, где M — среднее арифметическое, SD — стандартное отклонение; ¹ — статистически значимое различие между показателями в группах ($p < 0,05$); $J-T_{peak}$ — интервал от точки J до пика зубца T; $T_{peak}-T_{end}$ — интервал от пика зубца T до его окончания; T_{max} — время достижения положительного экстремума; T_{min} — время достижения отрицательного экстремума; A_{max} — положительный экстремум; A_{min} — отрицательный экстремум.

Note: The temporal and amplitude characteristics are presented for both groups at comparable degrees of SpO₂ reduction: in Group 1 at minute 1 and in Group 2 at minute 3 of hypoxic exposure. Values are expressed as M ± SD, where M is the mean and SD is the standard deviation. 1, significant difference between groups ($p < 0.05$); $J-T_{peak}$, interval from the J point to the peak of the T wave; $T_{peak}-T_{end}$, interval from the peak to the end of the T wave; T_{max} , time to the positive extremum; T_{min} , time to the negative extremum; A_{max} , positive extremum; A_{min} , negative extremum.

Исходные временные и амплитудные характеристики электрической активности сердца в группах были статистически незначимыми. Однако во 2-й группе у мужчин на 3-й мин гипоксического воздействия (SpO₂ 93,2±0,7%) наблюдали менее выраженное изменение временных характеристик по сравнению с 1-й группой на 1-й мин (SpO₂ 91,3±2,0%). Межгрупповое различие по показателю T_{max} было статистически значимым (см. табл. 1).

Временные параметры электрической активности сердца при различных типах гипоксического воздействия в течение 15 мин

Дисперсионный анализ у мужчин 1-й группы выявил статистически значимое влияние гипоксии на продолжительность интервалов $J-T_{peak}$ ($F_{(10, 140)}=3,63$, $p < 0,0001$), и QT ($F_{(10, 140)}=2,03$, $p=0,03$), при этом интервал $T_{peak}-T_{end}$ статистически значимо не изменялся ($F_{(10, 110)}=0,95$, $p=0,48$). Апостериорный анализ установил статистически значимое уменьшение продолжительности интервала $J-T_{peak}$ у мужчин 1-й группы по сравнению с исходным состоянием на 3, 7 и 10-й мин воздействия ($p=0,027$; 0,022 и 0,039 соответственно), а также на 1-й мин восстановления ($p=0,003$). Изменения интервала QT у мужчин 1-й группы были статистически незначимы на всех минутах воздействия (рис. 3).

Во 2-й группе статистический анализ (RM-ANOVA) продемонстрировал влияние гипоксического воздействия на длительность интервалов $J-T_{peak}$ ($F_{(10, 90)}=6,26$, $p < 0,001$), $T_{peak}-T_{end}$ ($F_{(10, 90)}=6,6$, $p < 0,001$) и QT ($F_{(10, 90)}=6,78$,

$p < 0,0001$). По результатам апостериорного анализа выявлено статистически значимое уменьшение продолжительности интервалов $J-T_{peak}$ на 5-й мин восстановления ($p=0,007$), $T_{peak}-T_{end}$ — на 3-й мин гипоксического воздействия ($p=0,021$) и на 5-й мин восстановления ($p=0,024$), а также QT на 5-й мин восстановления ($p=0,013$).

Межгрупповые различия выявлены по продолжительности интервала $J-T_{peak}$: у мужчин 1-й группы наблюдали статистически значимое его уменьшение в период с 3-й по 10-ю мин гипоксического воздействия, а также на 1-й мин восстановления дыханием атмосферным воздухом по сравнению с участниками 2-й группы.

Дисперсионный анализ выявил влияние обоих видов гипоксии на скорректированные с ритмом значения T_{max} и T_{min} в период реполяризации миокарда (рис. 4).

Во 2-й группе влияние гиперкапнической гипоксии на скорректированный показатель T_{max} ($F_{(10, 90)}=16,3$, $p=0,00001$) сопровождалось его статистически значимым уменьшением на всех минутах воздействия (с 1-й по 15-ю мин, $p < 0,0001$), а также в период восстановления (1–5 мин, $p < 0,0001$). Показатель T_{min} демонстрировал менее явную динамику ($F_{(10, 90)}=3,83$, $p < 0,0001$); апостериорный анализ показал уменьшение времени достижения отрицательным экстремумом своей амплитуды только на 3-й и 5-й мин восстановления.

В 1-й группе воздействие изокапнической гипоксии на ЭПС было менее значительным: при отсутствии статистически значимых изменений T_{max} ($F_{(10, 140)}=0,33$, $p=0,96$), выявлено статистически значимое снижение T_{min}

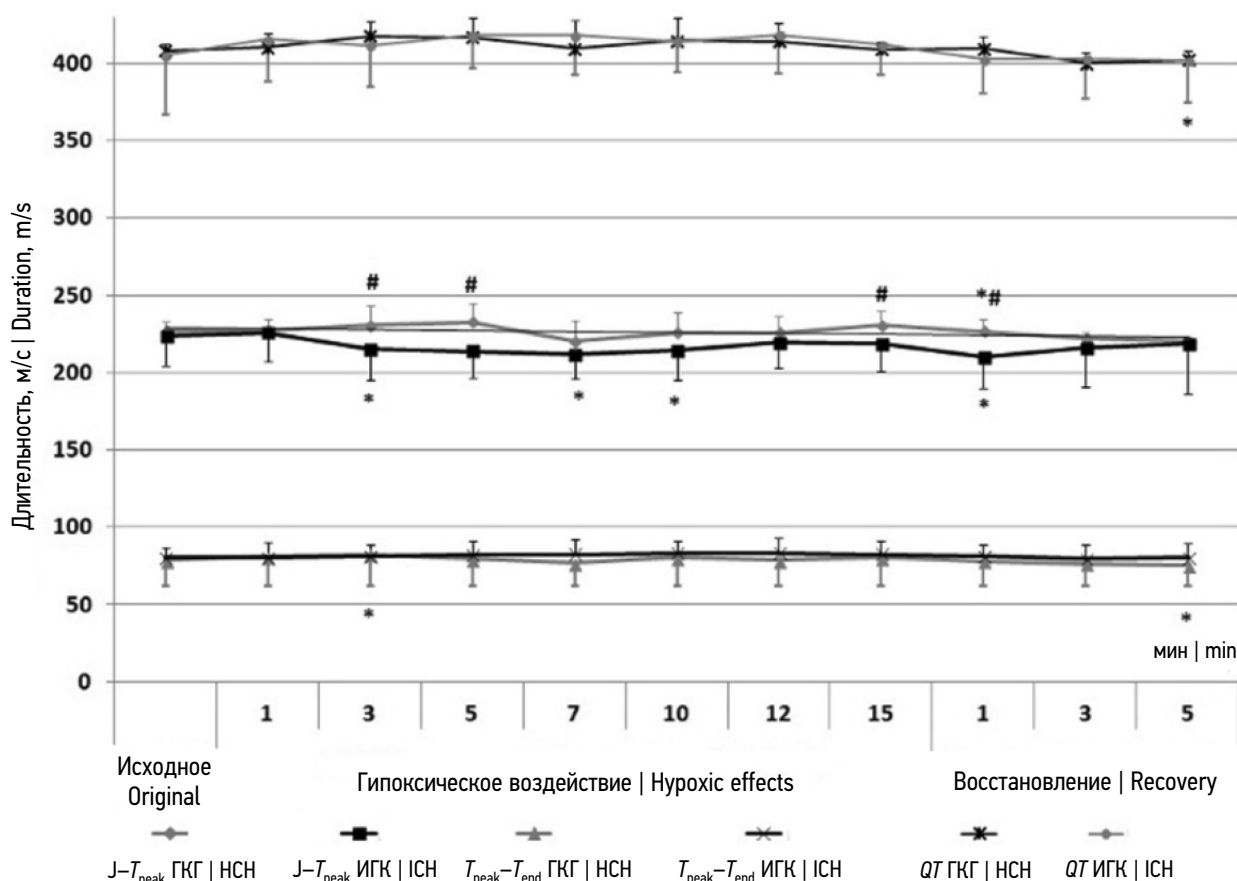


Рис. 3. Временные характеристики при разных видах гипоксического воздействия у участников исследования: * — статистически значимое отличие показателя по сравнению с исходным значением при воздействии изокапнической гипоксии ($p < 0,05$); # — статистически значимое отличие показателя по сравнению с исходным значением при воздействии гиперкапнической гипоксии ($p < 0,05$); ИКГ — изокапническая гипоксия; ГКГ — гиперкапническая гипоксия; $J-T_{\text{peak}}$ — интервал от точки J до пика зубца T; $T_{\text{peak}}-T_{\text{end}}$ — интервал от пика зубца T до его окончания.

Fig. 3. Temporal characteristics during different types of hypoxic exposure in study participants: *, significant difference compared to baseline under isocapnic hypoxic exposure ($p < 0.05$); #, significant difference compared to baseline under hypercapnic hypoxic exposure ($p < 0.05$); ICH, isocapnic hypoxia; HCH, hypercapnic hypoxia; $J-T_{\text{peak}}$, interval from the J point to the peak of the T wave; $T_{\text{peak}}-T_{\text{end}}$, interval from the peak to the end of the T wave.

($F_{(10, 140)} = 2,86$, $p = 0,0027$) на 3, 5, 7, 10, 12 и 15-й мин гипоксического воздействия ($p = 0,017$; 0,002; 0,038; 0,001; 0,01 и 0,002 соответственно), а также на 1-й мин восстановления ($p < 0,0001$).

Межгрупповой анализ показал статистически значимые различия показателя T_{max} с 10-й по 15-ю мин гипоксии ($p < 0,05$), с 1-й по 5-ю мин восстановления ($p < 0,001$). Значения T_{min} также имели статистически значимые различия между группами в аналогичные промежутки времени ($p < 0,05$).

Амплитудные параметры электрической активности сердца в период реполяризации желудочков при различных типах гипоксического воздействия в течение 15 мин

Исходные значения амплитуды волны T во II стандартном отведении у мужчин в двух группах не имели статистически значимого различия. Так, в 1-й группе её значение составило $0,48 \pm 0,28$ мВ, тогда как во 2-й группе — $0,47 \pm 0,25$ мВ. На протяжении всего периода

гипоксического воздействия и восстановления статистически значимых изменений амплитуды T во II стандартном отведении у мужчин в группах не обнаружено.

Анализ амплитудных параметров ЭПС, зарегистрированных на поверхности тела, также не выявил статистически значимых межгрупповых различий исходных значений: A_{max} в 1-й и 2-й группах составила $0,91 \pm 0,09$ и $0,90 \pm 0,10$ мВ соответственно. Статистически значимого изменения A_{max} в группах не происходило, однако отмечена тенденция к снижению данного показателя в 1-й группе на 7, 10 и 12-й мин дыхательной экспозиции ($p = 0,061$; 0,073; 0,061 соответственно).

Исходные значения A_{min} также не имели статистически значимых отличий в группах: в 1-й и 2-й группе — $0,50 \pm 0,06$ и $0,44 \pm 0,05$ мВ соответственно. Однако в 1-й группе происходило постепенное снижение A_{min} , достигавшее статистически значимых отличий от исходных на 5, 7 и 10-й мин гипоксического воздействия: $-0,40 \pm 0,13$ ($p = 0,047$), $-0,37 \pm 0,11$ ($p = 0,043$) и $-0,38 \pm 0,08$ мВ ($p = 0,01$) соответственно. Во 2-й группе статистически значимых

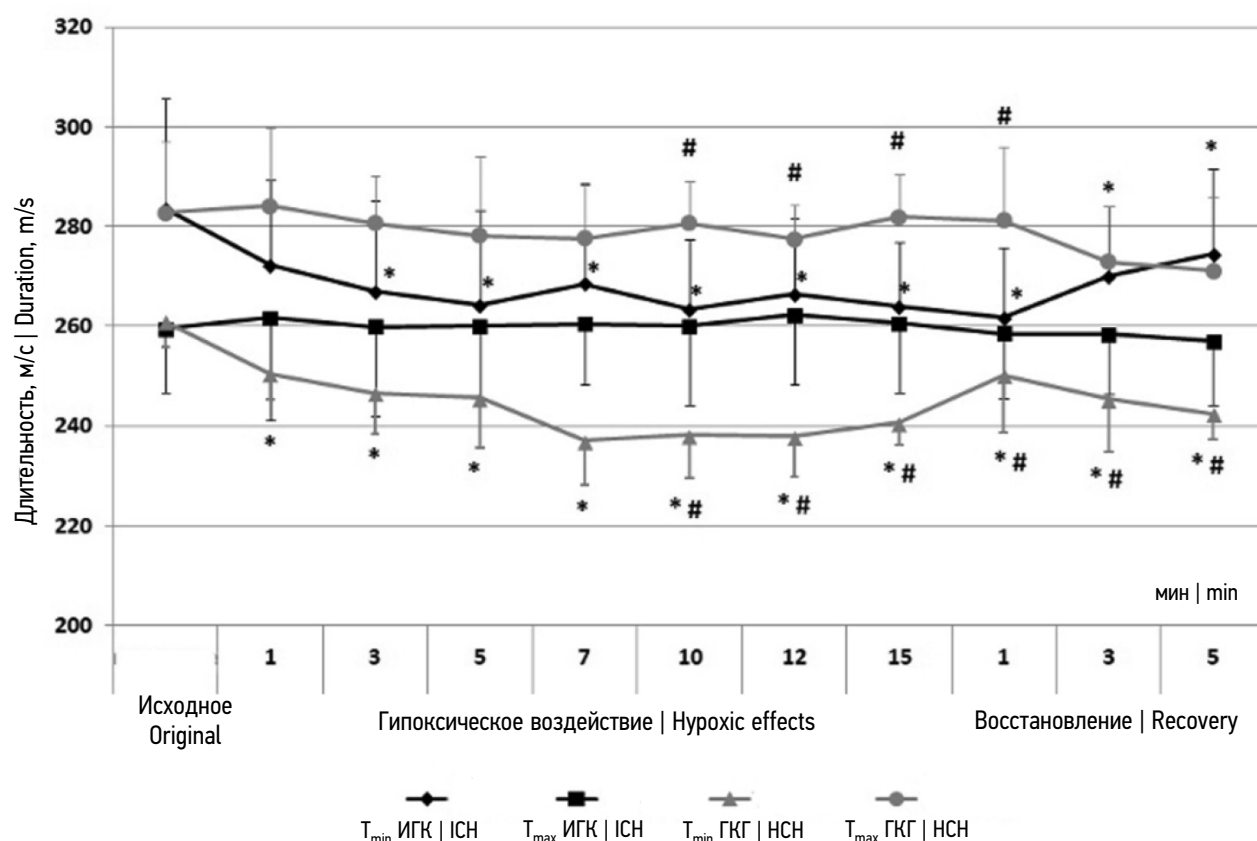


Рис. 4. Корректированное время достижения экстремумов электрического потенциала максимальной амплитуды в фазе реполяризации желудочков при различных формах гипоксии: * — статистически значимое изменение показателя по сравнению с исходным значением ($p < 0,05$); ИГК — изокапническая гипоксия; ГКГ — гиперкапническая гипоксия; $T_{\max}$ — время достижения положительного экстремума; $T_{\min}$ — время достижения отрицательного экстремума.

Fig. 4. Corrected time to maximum amplitude extrema of electric potential during the ventricular repolarization phase under different forms of hypoxic exposure: *, significant change compared to baseline ($p < 0.05$); ICH, isocapnic hypoxia; HCH, hypercapnic hypoxia; $T_{\max}$, time to the positive extremum; $T_{\min}$, time to the negative extremum.

изменений $A_{\min}$ не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Сравнительный анализ показал, что у молодых здоровых мужчин нормобарическая гиперкапническая гипоксия вызывает менее выраженные изменения электрической активности сердца в фазу реполяризации миокарда по сравнению с изокапнической.

Обсуждение основного результата исследования

Острая реакция кардиореспираторной системы на гипоксическое воздействие направлена на поддержание гомеостаза и обеспечение адекватного кровоснабжения жизненно важных, высокоэнергетических органов. Она проявляется учащением сердечного ритма, повышением системного артериального давления и увеличением частоты дыхания [2, 16]. Сравнительные исследования продемонстрировали различие в характере срочной

кардиореспираторной реакции на разные виды гипоксического воздействия. Так, при изокапнической гипоксии преимущественно активизируются механизмы, усиливающие сердечную деятельность, в то время как увеличение доли углекислого газа во вдыхаемой гипоксической смеси приводит к активации хеморецепторов каротидных тел, что сопровождается усилением дыхательной деятельности за счёт увеличения глубины вдоха [17–19]. В нашем исследовании оба типа гипоксического воздействия вызвали схожую реакцию, характеризующуюся увеличением ЧСС и снижением SpO_2 , на протяжении всей экспозиции. Однако при гиперкапнической гипоксии её снижение было статистически значимо менее выраженным на каждой минуте воздействия как в абсолютных показателях, так и по приросту относительно исходного состояния.

При сопоставимом снижении SpO_2 на фоне изокапнической и гиперкапнической гипоксии межгрупповых различий в изменении большинства временных параметров ЭКГ и ЭПС, скорректированных по ритму, не выявлено. Исключение составило статистически значимо менее выраженное уменьшение $T_{\max}$ при воздействии гиперкапнической гипоксии по сравнению с изокапнической. Полученные данные могут свидетельствовать о частичном нивелировании

эффектов гипоксического воздействия за счёт присоединения гиперкапнического компонента, проявляющегося уже в первые минуты экспозиции.

Реполаризация желудочков сердца представляет особый интерес для исследователей ввиду высокой чувствительности к воздействию различных внешних и внутренних факторов. При гипоксической экспозиции основными модуляторами данной фазы сердечного цикла выступают изменения парциального давления газов крови, а также и её электролитного состава [6, 20]. В нашем исследовании гипоксическое воздействие было кратковременным, что, по мнению Н.И. Саповой и соавт. [2] и Л.Д. Лукьяновой и соавт. [3], не приводит к значительным изменениям электролитного состава крови, способным непосредственно повлиять на параметры ЭКГ. Вместе с тем даже кратковременная гипоксия снижает активность энергозависимых ионных насосов мембраны кардиомиоцитов, изменяя их функциональное состояние. Влияние изокапнической гипоксии на миокард проявляется в изменениях реполяризации желудочков, что отражается в виде трансформации формы и амплитуды T -волны, увеличения длительности интервала QT , а также возможного смещения сегмента ST относительно изолинии [21–23]. Детализацию изменений реполяризации желудочков сердца проводят с помощью оценки длительности интервалов $J-T_{peak}$, $T_{peak}-T_{end}$, клинически подтвердивших свою информативность в качестве маркёров аритмогенности [24, 25]. Уменьшение длительности интервала $J-T_{peak}$ в сочетании с укорочением QT является типичной реакцией на кислородную недостаточность [25, 26]. Ранее мы показали, что у практически здорового человека на начальных стадиях развития гипоксического состояния общая длительность реполяризации желудочков тесно коррелирует с продолжительностью интервала $J-T_{peak}$, а при более значительном падении SpO_2 растёт взаимосвязь с длительностью $T_{peak}-T_{end}$ [22]. Изменение продолжительности периода реполяризации желудочков происходит преимущественно за счёт интервала $J-T_{peak}$, при этом межгрупповые различия в изменении его длительности отмечают с первой минуты воздействия изокапнической и гиперкапнической гипоксии, когда глубина гипоксемии ещё незначительна. Результаты нашего исследования свидетельствуют о более значительном влиянии изокапнической гипоксии на реполяризацию миокарда по сравнению с гиперкапнической. Более интенсивное её влияние на организм обусловлено прежде всего метаболическим ацидозом, который на ранних стадиях развития гипоксического состояния активирует системный ответ организма (усиление дыхания и сердечно-сосудистые изменения), при продолжающемся — формирует перестройку дыхательной цепи в митохондриях [3]. Однако накопление кислых продуктов реакции смещает кислотно-основные свойства крови, которые на фоне вымывания CO_2 (из-за гипервентиляции) прогрессивно нарастают и уже не активируют, а подавляют действие ферментов кислородтранспортной цепи. Именно поэтому увеличение доли CO_2

во вдыхаемом воздухе снижает выраженность гипоксических реакций, увеличивая буферную ёмкость крови [27]. Таким образом, гиперкапническая гипоксия за счёт введения CO_2 обеспечивает менее явный системный ответ.

При многоканальном ЭКГ-картировании особое внимание уделяют исследованию амплитудно-временных характеристик экстремумов ЭПС, что даёт представление о процессе восстановления возбудимости миокарда при различных физиологических состояниях или внешних воздействиях [9, 11, 12]. Ранее мы оценили ЭПС у пловцов, тренировочный процесс которых проходит в условиях задержки дыхания и повышенного rCO_2 в крови, и выявили, что адаптация к воздействию гипоксического и гиперкапнического факторов у них приводит к менее значимым изменениям реполяризации желудочков сердца в ответ на острую гипоксию, чем у нетренированных людей — изменяются преимущественно временные, а не амплитудные параметры [28]. Настоящее исследование показало, что у нетренированного человека изокапническая гипоксия вызывает изменения как амплитудных, так и временных характеристик экстремумов ЭПС, тогда как при гиперкапнической форме изменения затрагивают преимущественно временные параметры. Это свидетельствует о более выраженном стресс-воздействии на миокард изокапнической гипоксии. Разнонаправленные изменения амплитудно-временных характеристик экстремумов ЭПС у спортсменов-пловцов при нормобарической гипоксии [29] указывают на изменение продолжительности и внутренней структуры реполяризации желудочков сердца. Амплитуда T -волны на ЭКГ в стандартных отведениях характеризует суммарную электрическую активность кардиомиоцитов в процессе реполяризации, тогда как при многоканальном ЭКГ-картировании локализация и амплитуда экстремумов показывает максимальный потенциал реполяризованной области в конкретный момент времени, его изменения при воздействиях является более чувствительным показателем электрической активности сердца [10]. Изучение амплитудных характеристик у исследуемых при одинаковом (на 1-й и 3-й мин изокапнической и гиперкапнической гипоксии соответственно) и разном (продолжительностью по 15 мин) уровнях гипоксемии показало отсутствие изменения амплитуды T -волны, тогда как межгрупповые различия в уменьшении T_{max} выявлены с первых минут воздействия (на одинаковом уровне гипоксемии) и до его конца, а T_{min} — уже при существенной разнице SpO_2 между представителями разных групп.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование процесса реполяризации желудочков сердца при воздействии гипоксии с различным содержанием CO_2 показало более выраженное стрессовое влияние изокапнической гипоксии на электрическую активность сердца по сравнению с гиперкапнической у практически здоровых молодых мужчин.

Изменения длительности $J-T_{peak}$, T_{max} , T_{min} , зафиксированные при обоих типах гипоксии, были менее выражены в условиях гиперкапнической гипоксии как при сходном уровне гипоксемии (1-я и 3-я мин изокапнической и гиперкапнической гипоксии соответственно), так и при их расхождении (15-я мин), что проявилось в межгрупповых различиях исследуемых параметров.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.В. Заменяна, Н.И. Ивонина, А.А. Фокин — сбор и анализ данных, интерпретация результатов, написание и редактирование текста рукописи; И.М. Рощевская — концепция исследования, интерпретация результатов, научное редактирование текста рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность ООО «OXYTERRA» за предоставленный для исследования инновационный аппарат для получения гипоксических, гипероксических и нормоксических газовых смесей OXYTERRA. Авторы статьи благодарят канд. биол. наук А.С. Шилову за помощь в организации и проведении исследования.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом отдела сравнительной кардиологии Федерального исследовательского центра «Кому научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (протокол заседания № 1 от 06.04.2022).

Источники финансирования. Отсутствуют.

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

Оригинальность. При создании настоящей работы использовано изображение (распределение электродов на поверхности туловища и эквивалентная моментная карта на рис. 1), заимствованное из работы Н.И. Пантелеевой и соавт. [Panteleeva NI, Roshchevskaya IM. The heart electric field on the thorax surface of sportsmen-swimmers during ventricular repolarization under acute normobaric hypoxia. *Russian Journal of Physiology*. 2016;102(11):1383–1393. EDN: XYGYMZ] (распространяется на условиях лицензии CC-BY 4.0).

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

Доступ к данным. Авторы заявляют об открытом доступе к данным.

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

не использовали.

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

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.V. Zamenina, N.I. Ivonina, A.A. Fokin: investigation, formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; I.M. Roshchevskaya: conceptualization, formal analysis, writing—review & editing. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Acknowledgments: The authors express their gratitude to OXYTERRA LLC for providing the innovative OXYTERRA device for generating hypoxic, hyperoxic, and normoxic gas mixtures used in this study. The authors also thank A.S. Shilov, Cand. Sci. (Biology), for assistance with the organization and implementation of the research.

Ethics approval: The study was approved by the Local Ethics Committee of the Department of Comparative Cardiology, The Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Minutes No. 1 of April 6, 2022).

Funding sources: No funding.

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

Statement of originality: This study includes an image (electrode distribution on the torso surface and the equipotential map in Fig. 1) adapted from: Panteleeva NI, Roshchevskaya IM. The heart electric field on the thorax surface of sportsmen-swimmers during ventricular repolarization under acute normobaric hypoxia. *Russian Journal of Physiology*. 2016;102(11):1383–1393. EDN: XYGYMZ (distributed under the CC-BY 4.0 license).

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

Data availability statement: The authors declare that the data are publicly available.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Hitrov NK, Paukov VS. *Adaptation of the heart to hypoxia*. Moscow: Medicina; 1991. (In Russ.) ISBN: 5-225-00653-1 Available from: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001616365?ysclid=mbndc51z3x816503700>
2. Sapova NI, Ivanova AO. *Gipoksiterapnya*. Saint Petersburg: LLC "Medkniga"ELBI"; 2003. ISBN: 5-93979-074-7 EDN: XSXSZH
3. Lukjanova LD, Ushakov IB. *Problems of hypoxia: molecular, physiological and medical aspects*. Moscow: Istoki; 2004. (In Russ.) ISBN: 5-88242-282-5 EDN: QLGAFT
4. Tessema B, Sack U, König B, et al. Effects of intermittent hypoxia in training regimes and in obstructive sleep apnea on aging biomarkers and age-related diseases: a systematic review. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2022;14: 878278. doi: 10.3389/fnagi.2022.878278 EDN: BYSJVP
5. Kulikov VP, Tregub PP, Bespalov AG, Vvedenskiy AJ. Comparative efficacy of hypoxia, hypercapnia and hypercapnic hypoxia increases body resistance to acute hypoxia in rats. *Patologičeskā fiziologijā i eksperimental'nā terapiā*. 2013;57(3):59–61. EDN: QCTYTS
6. Shimoda LA, Polak J. Hypoxia. 4. Hypoxia and ion channel function. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2011;300(5):C951–C967. doi: 10.1152/ajpcell.00512.2010 EDN: OMQTQH
7. Taccardi B, Punske B, Lux R, et al. Useful Lessons from Body Surface Mapping. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*. 1998;9(7):773–786. doi: 10.1111/j.1540-8167.1998.tb00965.x
8. Kania M, Maniewski R, Zaczek R, et al. Optimal ECG lead system for exercise assessment of ischemic heart disease. *Journal of Cardiovascular Translational Research*. 2019;13(5):758–768. doi: 10.1007/s12265-019-09949-3 EDN: PSVYYA
9. Bergquist J, Rupp L, Zenger B, et al. Body surface potential mapping: contemporary applications and future perspectives. *Hearts*. 2021;2(4):514–542. doi: 10.3390/hearts2040040 EDN: UDSUWR

Prevalence of Anxiety and Depression Symptoms and Their Association with Sleep Quality in Patients with Hypertension

Alexander A. Kazachenko¹, Alexey N. Kuchmin¹, Elena P. Golova¹, Anna V. Tanich¹, Igor M. Borisov¹, Maxim I. Muzikin^{1–3}, Viktoriia A. Burletova¹, Maria A. Budkovaia², Sergei Yu. Tytiuk¹

¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² St.-Petersburg Scientific Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, Russia

³ St. Petersburg Medical and Social Institute, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In recent years, substantial evidence has accumulated regarding the negative impact of psychoemotional stress, sleep disorders, and anxiety and depressive disorders on the course of arterial hypertension, as reflected in national guidelines. However, in real-world clinical practice, these aspects are often assessed subjectively and rarely incorporated into the diagnosis; as a result, they frequently receive insufficient attention and are not addressed properly.

AIM: To assess the prevalence of subclinical and clinically significant anxiety and depression symptoms, as well as their association with sleep quality in patients with hypertension.

METHODS: A single-center, observational, cross-sectional study was conducted. The study included patients admitted for follow-up inpatient examination and treatment at the Department of Propaedeutics of Internal Diseases, S.M. Kirov Military Medical Academy, from 2021 to 2024. During their first days in the hospital, patients completed validated questionnaires assessing psychoemotional status, sleep disorders, and risk of obstructive sleep apnea. The questionnaires included the Hospital Anxiety and Depression Scale, the Insomnia Severity Index, the STOP-BANG Risk Score for Obstructive Sleep Apnea, and the Epworth Sleepiness Scale.

RESULTS: A total of 348 patients were surveyed, with a mean age of 49.5 ± 20.6 years. The majority of participants were male (83.3%), whereas females comprised 16.7%. Symptoms of subclinical and clinically significant anxiety and depression were reported in 112 patients (32.2%) and 132 patients (37.9%), respectively. A high risk of obstructive sleep apnea was identified in 228 patients (65.5%), whereas 282 patients (81.1%) had moderate sleep disorders. The severity of anxiety and depression moderately correlated with sleep quality ($\rho=0.51$ and 0.50 , respectively; $p < 0.001$) and daytime sleepiness ($r=0.43$ and 0.57 , respectively; $p < 0.001$). Individuals with moderate sleep disorders were 12.88 times more likely to have depression symptoms (95% CI: 4.6–36.4) and 9.62 times more likely to have anxiety symptoms (95% CI: 3.40–27.20); these differences were significant. Moreover, there were significant differences in anxiety and depression severity in patients with exertional angina and a high risk of obstructive sleep apnea, regardless of sex. In female patients, significant differences in anxiety severity were reported ($p < 0.05$).

CONCLUSION: The findings show that patients with hypertension have a high prevalence of cardiovascular risk factors, including psychoemotional disorders, sleep disorders, and obstructive sleep apnea, emphasizing the importance of comprehensive history taking and using specialized questionnaires in routine clinical practice.

Keywords: anxiety; depression; sleep disorders; apnea; obstructive sleep apnea; hypertension; prevalence.

To cite this article:

Kazachenko AA, Kuchmin AN, Golova EP, Tanich AV, Borisov IM, Muzikin MI, Burletova VA, Budkovaia MA, Tytiuk SYu. Prevalence of anxiety and depression symptoms and their association with sleep quality in patients with hypertension. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):135–144. DOI: 10.17816/humeco643517 EDN: TRPOGP

Распространённость симптомов тревоги и депрессии, их взаимосвязь с качеством сна у пациентов с артериальной гипертензией

А.А. Казаченко¹, А.Н. Кучмин¹, Е.П. Галова¹, А.В. Танич¹, И.М. Борисов¹,
М.И. Музыкин¹⁻³, В.А. Бурлетова¹, М.А. Будковая², С.Ю. Тытюк¹

¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;

² Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский медико-социальный институт, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В последние годы накоплено достаточное количество данных о неблагоприятном влиянии психоэмоционального стресса, нарушений сна, тревожных и депрессивных расстройств на течение артериальной гипертензии, что нашло своё отражение в национальных рекомендациях. Однако в реальной клинической практике оценка этих аспектов зачастую носит субъективный характер, редко включена в общую структуру диагноза, и, как следствие, не получает должного внимания и коррекции.

Цель. Оценить распространённость субклинических и клинически выраженных симптомов тревоги и депрессии, а также их взаимосвязь с качеством сна у пациентов с артериальной гипертензией.

Материалы и методы. Проведено наблюдательное одноцентровое одномоментное исследование. В него включены пациенты, поступившие на плановое стационарное обследование и лечение в клинику пропедевтики внутренних болезней Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова в 2021–2024 гг. В течение первых дней госпитализации пациенты заполняли опросники, направленные на оценку психоэмоционального состояния, наличия нарушений сна и риска синдрома обструктивного апноэ сна. В перечень использованных инструментов вошли госпитальная шкала тревоги и депрессии, индекс выраженности бессонницы, опросник для оценки риска обструктивного апноэ и шкала сонливости Эпворта.

Результаты. Опрошены 348 пациентов, средний возраст составил $49,5 \pm 20,6$ года. Среди участников исследования преобладали мужчины — 83,3%, доля женщин составила 16,7%. По результатам анализа опросников симптомы субклинической и клинически выраженной тревоги наблюдали у 112 (32,2%) человек, депрессии — у 132 (37,9%). Высокая вероятность синдрома обструктивного апноэ сна выявлена у 228 (65,5%) пациентов, тогда как умеренно выраженные нарушения качества сна — у 282 (81,1%). При анализе взаимосвязи выраженности тревоги и депрессии установлена средней силы корреляционная связь с качеством сна ($r=0,51$ и $0,5$ соответственно, $p < 0,001$) и выраженностью сонливости ($r=0,43$ и $0,57$ соответственно, $p < 0,001$). У лиц с умеренно выраженными нарушениями сна шансы выявления симптомов депрессии были выше в 12,88 раза (95% доверительный интервал: 4,6–36,4), симптомов тревожности в 9,62 раза (95% доверительный интервал: 3,40–27,20); различия шансов были статистически значимыми. Кроме того, получены статистически значимые различия в степени выраженности тревоги и депрессии у пациентов со стенокардией напряжения и высокой вероятностью синдрома обструктивного апноэ сна вне зависимости от половой принадлежности, а также для пациентов женского пола по степени выраженности тревожности ($p < 0,05$).

Заключение. Данные исследования, продемонстрировав высокую распространённость факторов сердечно-сосудистого риска (психоэмоциональных нарушений, расстройств сна и синдрома обструктивного апноэ сна) у пациентов с артериальной гипертензией, свидетельствуют о важности более детального сбора анамнеза и применения специализированных опросников в клинической практике.

Ключевые слова: тревога; депрессия; нарушения сна; апноэ; синдром обструктивного апноэ сна; артериальная гипертензия; распространённость.

Как цитировать:

Казаченко А.А., Кучмин А.Н., Галова Е.П., Танич А.В., Борисов И.М., Музыкин М.И., Бурлетова В.А., Будковая М.А., Тытюк С.Ю. Распространённость симптомом тревоги и депрессии, их взаимосвязь с качеством сна у пациентов с артериальной гипертензией // Экология человека. 2025. Т. 32, № 2. С. 135–144. DOI: 10.17816/humeco643517 EDN: TRPOGP

Рукопись поступила: 12.05.2025

Рукопись одобрена: 28.05.2025

Опубликована online: 15.06.2025

高血压患者中焦虑与抑郁症状的流行情况及其与睡眠质量的关系

Alexander A. Kazachenko¹, Alexey N. Kuchmin¹, Elena P. Golova¹, Anna V. Tanich¹, Igor M. Borisov¹, Maxim I. Muzikin¹⁻³, Viktoriia A. Burletova¹, Maria A. Budkovaia², Sergei Yu. Tytiuk¹

¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² St.-Petersburg Scientific Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, Russia

³ St. Petersburg Medical and Social Institute, St. Petersburg, Russia

摘要

论证。近年来，已有大量研究表明，心理情绪压力、睡眠障碍、焦虑和抑郁等精神心理问题会对高血压的病程产生不良影响，这一认识已被纳入国家临床指南。然而，在实际临床实践中，此类因素的评估往往具有主观性，较少纳入诊断体系，从而缺乏必要的关注与干预。

目的。目的：评估高血压患者中亚临床及临床焦虑、抑郁症状的流行率，并分析其与睡眠质量的相关性。

方法：开展了一项单中心横断面观察性研究。研究对象为2021年至2024年期间因计划性住院接受检查与治疗的患者，入院科室为S.M. Kirov Military Medical Academy内科学导论科。住院最初几日内，患者填写了用于评估心理情绪状态、睡眠障碍及阻塞性睡眠呼吸暂停综合征风险的问卷。所用评估工具包括：医院焦虑抑郁量表、失眠严重度指数、阻塞性睡眠呼吸暂停风险评估问卷以及Epworth嗜睡量表。

结果。共调查348例患者，平均年龄为 49.5 ± 20.6 岁。研究参与者中，男性占83.3%，女性占16.7%。问卷结果显示，112例（32.2%）存在亚临床或临床焦虑症状，132例（37.9%）存在抑郁症状。228例（65.5%）存在较高的阻塞性睡眠呼吸暂停风险，282例（81.1%）存在中度睡眠障碍。焦虑和抑郁程度与睡眠质量之间存在中等强度的正相关（ $\rho = 0.51$ 和 0.50 ， $p < 0.001$ ），与日间嗜睡程度也呈显著相关（ $r = 0.43$ 和 0.57 ， $p < 0.001$ ）。在中度睡眠障碍人群中，抑郁症状的发生风险增加了12.88倍（95% 置信区间：4.6 – 36.4），焦虑症状增加了9.62倍（95% 置信区间：3.40 – 27.20），差异具有统计学意义。此外，在合并劳力性心绞痛且具有高阻塞性睡眠呼吸暂停风险的患者中，无论性别，焦虑与抑郁症状的严重程度均呈现统计学显著差异；同时，在女性患者中，焦虑严重度的差异尤为显著（ $p < 0.05$ ）。

结论。本研究结果显示，高血压患者中（心理障碍、睡眠障碍和阻塞性睡眠呼吸暂停综合征）等心血管风险因素的高流行性，凸显了在临床实践中更详细采集相关病史并使用专门评估问卷工具的重要性。

关键词：焦虑；抑郁；睡眠障碍；呼吸暂停；阻塞性睡眠呼吸暂停综合征；高血压；流行率。

引用本文：

Kazachenko AA, Kuchmin AN, Golova EP, Tanich AV, Borisov IM, Muzikin MI, Burletova VA, Budkovaia MA, Tytiuk SYu. 高血压患者中焦虑与抑郁症状的流行情况及其与睡眠质量的关系. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(2):135–144. DOI: 10.17816/humeco643517 EDN: TRPOGP

收到: 12.05.2025

接受: 28.05.2025

发布日期: 15.06.2025

BACKGROUND

Arterial hypertension associated with a high risk of cardiovascular complications remains an urgent social issue due to its high prevalence. In recent years, substantial evidence has been accumulated on the adverse effect of psychoemotional stress, sleep disorders, and anxiety and depressive disorders on the course of arterial hypertension as reflected in national guidelines [1, 2]. However, in real-life clinical practice, these aspects are often assessed subjectively and rarely incorporated into the diagnosis; as a result, they are usually neglected and are not addressed properly.

Psychoemotional stress is a multifaceted factor of arterial hypertension realized through several pathophysiological mechanisms, including the activation of sympathoadrenal system and the pituitary-hypothalamic-adrenal axis. The intensity of these reactions is mostly determined by stress intensity and various emotional reactions. An example of acute stress is so called white coat hypertension, where the blood pressure increase is short-term and caused by sympathoadrenal activation. In chronic stress, the key factor is high cortisol level, which has a longer-term complex influence on the cardiovascular system and metabolism [3].

The prevalence of anxiety and depression symptoms in the population depends on many factors, both personal and social (interpersonal relationships, political and economic conditions in the country, military conflicts and pandemics).¹ For example, an analysis conducted by Xiong et al. [4] during the COVID-19 pandemic showed a high prevalence of psychoemotional disorders in the population of China, Spain, Italy, Iran, the United States of America, Turkey, Nepal, and Denmark. The frequency of depression symptoms ranged from 14.6 to 48.3%, anxiety symptoms ranged from 6.33 to 50.9%, and general stress symptoms ranged from 8.1 to 81.9% and higher. The authors highlight a general increase in the prevalence of these symptoms, especially in patients with chronic diseases.

Thus, on the one hand, the recognition of the negative influence of psychoemotional stress and its importance as a risk factor of cardiovascular complications is beyond doubt. However, on the other hand, its assessment methods and prevalence data are still controversial. In routine clinical practice, it is difficult to determine the psychoemotional stress level due to the high degree of subjectivity of perception. In addition, it often requires to engage a psychiatrist or clinical psychologist. The use of special questionnaires is also limited by several factors, including lack of time and low motivation of medical staff. As a result, the understanding of the prevalence of anxiety and depressive disorders is mainly based on targeted epidemiological studies.

¹ Mental health in emergencies; [about 3 pages]. B: World Health Organization [Internet]. Geneva: World Health Organization, 2022–2025. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-in-emergencies>. Accessed on March 12, 2025.

AIM

To assess the prevalence of subclinical and clinically significant anxiety and depression symptoms, as well as their association with sleep quality in patients with hypertension.

METHODS

Study Design

A cross-sectional single-center observational study was conducted.

Eligibility Criteria

The *inclusion criteria* covered:

- Patients with arterial hypertension;
- Patients admitted for follow-up inpatient examination and treatment.

Exclusion criterion is patients who have suffered an acute cerebrovascular accident.

- Study Setting

The study included patients admitted for follow-up inpatient examination and treatment at the Department of Pro-paedeutics of Internal Diseases, S.M. Kirov Military Medical Academy.

Study Duration

The study was conducted in 2021–2024.

Psychoemotional and Somnological Assessment

During their first days in the hospital, patients completed validated questionnaires assessing psychoemotional status, sleep disorders, and risk of obstructive sleep apnea. The study used the following tools:

- Hospital Anxiety (A) and Depression Scale (D) (HADS): 0–7, no reliable symptoms of anxiety and depression; 8–10, subclinical anxiety/depression; 11 and more, clinical anxiety/depression;
- Insomnia Severity Index (ISI): 0–7, normal sleep; 8–14, mild sleep disorders; 15–21, moderate sleep disorders; 22–28, severe sleep disorders [5];
- STOP-BANG Score for Obstructive Sleep Apnea: the total score exceeding 5 indicates high risk [6];
- Epworth Sleepiness Scale [7].

Main Study Outcome

The prevalence of subclinical and clinical symptoms of anxiety and depression in patients with arterial hypertension.

Statistical Analysis

Principles of sample size calculating: The initial sample size was not calculated.

Statistical data analysis methods: Statistical analysis was performed using StatTech® v. 4.6.3 software (StatTech LLC, Russia). The factors affecting the treatment outcome were studied by Fisher's exact test. The strength of each factor

was determined as the odds ratio of an unfavorable outcome during the observation of patients during treatment. In all statistical analyses, the achieved significance (p) was calculated and $p=0.05$ was considered critical.

RESULTS

Participants

A total of 360 patients with arterial hypertension were surveyed. Twelve patients who had suffered an acute cerebrovascular accident were excluded from the analysis. The final sample size was 348. Mean age of patients was 49.5 ± 20.6 years, including 83.3% male and 16.7% female. The comorbidity structure included 88 patients (25.3%) diagnosed with Functional Class I–II angina pectoris, 50 patients (14.4%) with atrial fibrillation, and 84 patients (24.1%) with type 2 diabetes mellitus. 12 patients (3.4%) had a history of myocardial infarction.

Primary Results

According to the survey, symptoms of subclinical and clinical anxiety and depression were reported in 112 patients (32.2%) and 132 patients (37.9%), respectively. A high risk of obstructive sleep apnea was identified in 228 patients (65.5%), whereas 282 patients (81.1%) had moderate sleep disorders. Comprehensive psychoemotional status and apnea risk assessment is summarized in Table 1.

Analysis of the relationship between the severity of anxiety and depression symptoms and sex and comorbidities,

including the probability of obstructive sleep apnea, showed significant differences in female patients as they reported a more severe anxiety ($p < 0.05$). In addition, significant differences in anxiety and depression severity were reported in patients diagnosed with angina pectoris and a high probability of obstructive sleep apnea syndrome, regardless of sex. However, other comorbidities did not have a significant influence on anxiety and depression severity ($p > 0.05$). The odds of subclinical and clinical anxiety in female patients were 1.93 times higher than in male patients with significant differences (odds ratio [OR]=0.52, 95% confidence interval [CI] 0.29–0.92). In patients with angina pectoris, the odds of subclinical and clinical anxiety were 3.22 times higher as compared to patients without this disease (OR=0.31, 95% CI 0.19–0.51); whereas the odds of subclinical and clinical depression were 1.73 times higher (OR=0.58, 95% CI 0.36–0.95).

The prevalence of subclinical and clinical anxiety and depression in patients with a high probability of obstructive sleep apnea was 36.0 and 47.4%, respectively, which is higher than in low risk patients (25 and 20%, respectively). Moreover, the odds differences were significant ($p < 0.05$). However, the relationship between anxiety and depression severity and the total STOP-BANG score was weak (see Table 2).

An analysis of the relationship between anxiety and depression severity showed that it moderately correlated with sleep quality and daytime sleepiness (see Table 2). The Insomnia Severity Index provides a detailed measure of sleep disorders, including difficulty falling asleep, nighttime and early awakenings. An assessment of the relationship

Table 1. Comprehensive assessment of psychoemotional status and risk of sleep apnea

Interpretation	Abs.	%	95% CI
Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS)			
No symptoms of anxiety	236	67.8	62.6–72.7
Subclinical anxiety	80	23.0	18.7–27.8
Clinically significant anxiety	32	9.2	6.4–12.7
No symptoms of depression	216	62.1	56.7–67.2
Subclinical depression	80	23.0	18.7–27.8
Clinically significant depression	52	14.9	11.4–19.1
Sleep quality (Insomnia Severity Index, ISI)			
Normal sleep	18	5.2	3.1–8.1
Mild sleep disturbance	48	13.8	10.3–17.9
Moderate sleep disturbance	114	32.8	27.8–38.0
Severe sleep disturbance	168	48.3	42.9–53.7
STOP-BANG Risk Score for Obstructive Sleep Apnea			
Low risk	120	34.5	29.5–39.7
High risk	228	65.5	60.3–70.5

between these symptoms showed the strongest relationship with anxiety severity.

An analysis of anxiety and depression severity depending on the degree of subjective sleep disorders showed significant differences for all groups, except the depression severity in patients with mild sleep disorders and normal quality of sleep (see Fig. 1, 2). An interesting fact was that the prevalence of subclinical and clinical anxiety and depression in patients with moderate sleep disorders was 38.3 and 45.4%, respectively, which is higher than in our sample in general and as compared to the patients who reported normal sleep or mild sleep disorders. The odds of detecting depression were 12.88 times higher (95% CI 4.6–36.4) and the odds of detecting anxiety were 9.62 times higher (95% CI 3.40–27.20); the differences in odds were significant. It is worth noting that 70.2% ($n=198$) of patients with a high probability of obstructive sleep apnea (see Table 1) reported moderate sleep disorders. However, the odds of detecting symptoms that worsen the subjective sleep quality perception were 2.83 times higher as compared to the group of patients with a low probability of obstructive sleep apnea; the differences were significant (95% CI 1.64–4.89).

DISCUSSION

According to various studies, the prevalence of depression and anxiety symptoms in patients with arterial hypertension remains high. However, it varies widely depending on the assessment method, sample parameters, and diagnostic criteria. For example, a meta-analysis conducted by Li et al. [8] based on 41 studies with a total sample size of 30,796 participants showed a total depression prevalence of 26.8% in patients with arterial hypertension. The estimated prevalence determined by survey-based studies (1/3 of all studies) was 21.3% (95% CI 14.2–30.0); whereas self-rating scales showed the prevalence of 29.8% (95% CI 23.3–36.7). In the study conducted by T. Kaya et al. [9], psychoemotional disorders were diagnosed using both questionnaires and in-person assessment by professionals. In this study, the prevalence of depressive disorders in patients with arterial hypertension was 54.8%, which was significantly higher as compared to the control group (27.5%). The prevalence of anxiety disorders reached 27.9%, but no significant differences were found as compared to the control group (18.6%). The higher incidence of depressive symptoms may be partly

Table 2. Correlation analysis of the association between anxiety and depression severity, risk of obstructive sleep apnea, and other questionnaire data

Variable	Strength of correlation		
	<i>r</i>	Strength of association on Chaddock scale	<i>p</i> -value
Association with anxiety severity			
Sleep quality	0.51	Moderate	<0.001
Sleepiness scale	0.43	Moderate	<0.001
Obstructive sleep apnea	0.15	Weak	<0.01
Difficulty falling asleep	0.33	Moderate	<0.001
Sleep fragmentation	0.42	Moderate	<0.001
Early awakening (anxiety-related)	0.38	Moderate	<0.001
Association with depression severity			
Sleep quality	0.50	Moderate	<0.001
Sleepiness scale	0.57	Moderate	<0.001
Obstructive sleep apnea	0.29	Weak	<0.001
Difficulty falling asleep	0.24	Weak	<0.001
Sleep fragmentation	0.35	Moderate	<0.001
Early awakening (anxiety-related)	0.21	Weak	<0.001
Risk of obstructive sleep apnea			
Sleep quality	0.40	Moderate	<0.001
Sleepiness scale	0.46	Moderate	<0.001
Difficulty falling asleep	0.04	—	>0.05
Sleep fragmentation	0.25	Weak	<0.001
Early awakening	0.21	Weak	<0.001

due to the later period of the study, close to the time of our observation, and the similarity of the results.

Information on the prevalence of anxiety and depression in the population of the Russian Federation is provided in the multicenter epidemiological study ESSE-RF (Epidemiology of Cardiovascular Diseases in the Regions of the Russian Federation), which used the Hospital Anxiety (A) and Depression Scale (D) (HADS-A/HADS-D). An important feature of this study was the opportunity to assess the changes in the prevalence of these symptoms in different periods, including ESSE-RF (2013–2014); ESSE-RF 2 (2017), and ESSE-RF 3 (2020–2022). The study showed that the prevalence of sub-clinical and clinical symptoms of anxiety was 19.3 and 6.8%, and symptoms of depression was 15.9 and 4.5%, respectively. HADS-A and HADS-D scores ≥ 8 and < 11 , respectively, and HADS-A score ≥ 11 in the ESSE-RF and ESSE-RF 2 studies were significantly higher ($p < 0.001$) as compared to ESSE-RF 3. Regression analysis (HADS-D ≥ 8) in male and female participants in models (M1 and M2) showed a significant ($p < 0.001$) association with the age group 55–74 years,

lower education and income, a greater number of comorbidities (male ≥ 2 and female ≥ 1), and females living in rural areas ($p = 0.019$). Unlike foreign studies, the ESSE-RF project observed a trend towards an annual decrease in the prevalence of anxiety and depression; the authors attribute it to the fact that the sample included more patients with milder disorders [10]. Perhaps, this explains the higher prevalence of anxiety and depressive disorders in our group of patients with arterial hypertension undergoing inpatient treatment.

The relationship between arterial hypertension and sleep problems has been proven in other studies [11, 12]. For example, Y. Cai et al. [11], analyzing the NHANTS (National Health and Nutritional Examination Survey) patient database for 2005–2018, showed that individuals reporting sleep disorders had a higher risk of arterial hypertension (OR=1.36, 95% CI 1.23–1.50). It is worth noting that the prevalence of sleep disorders in the subjects was 27.74%; whereas symptoms of depression were detected in 7.54% cases only. This frequency ratio is consistent with our data showing that moderate sleep disorders were more common in patients

HADS-A scores (anxiety)

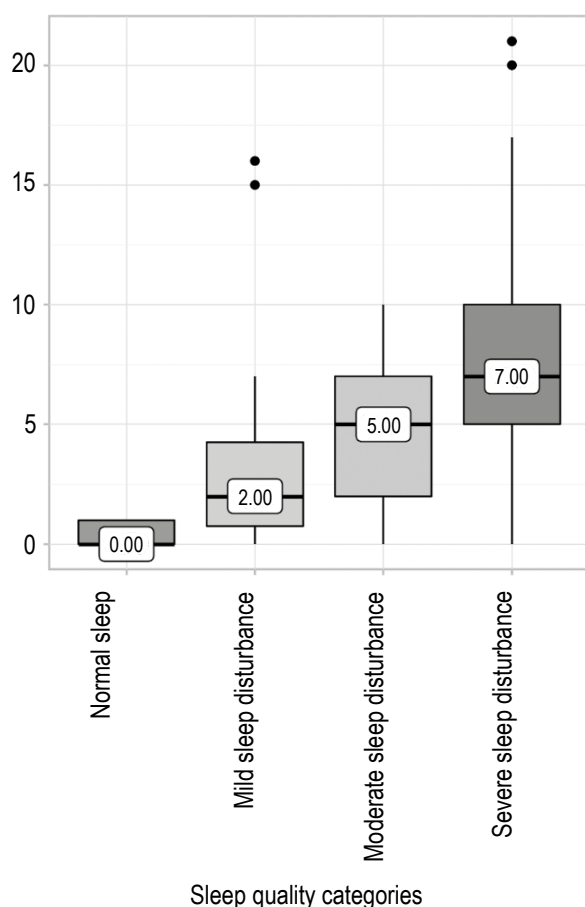


Рис. 1. Средние баллы по шкале HADS-A в зависимости от выраженности субъективного восприятия нарушений сна: HADS-A (Hospital Anxiety and Depression — Anxiety Subscale) — госпитальная шкала тревоги и депрессии, подшкала тревоги.

Fig. 1. Mean HADS-A scores by subjective severity of sleep disorders. HADS-A, Hospital Anxiety and Depression Scale—Anxiety Subscale.

HADS-D scores (depression)

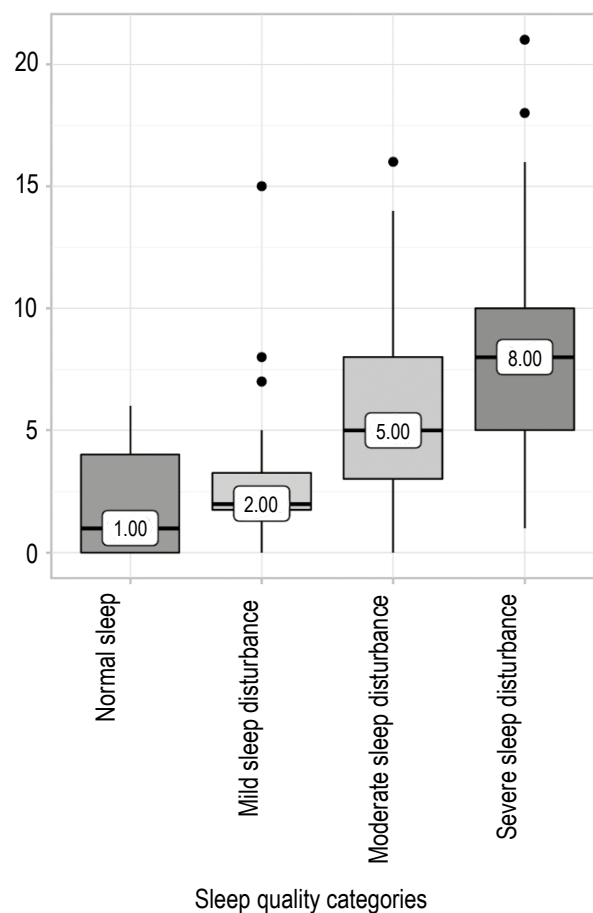


Рис. 2. Средние баллы по шкале HADS-D в зависимости от выраженности субъективного восприятия нарушений сна: HADS-A (Hospital Anxiety and Depression — Depression Subscale) — госпитальная шкала тревоги и депрессии, подшкала депрессии.

Fig. 2. Mean HADS-D scores by subjective severity of sleep disorders. HADS-D, Hospital Anxiety and Depression Scale—Depression Subscale.

with symptoms of anxiety and depression. This fact can be explained by several factors. First, despite the association of depressive symptoms with subjective sleep perception, the latter may be associated with comorbidities affecting sleep quality (obstructive sleep apnea and restless legs syndrome) [12]. Second, the psychoemotional disorders are often very personal and intimate. Only a few patients would want to share it with their attending physician. However, a story about sleep disorders is perceived easier and does not require opening up the heart.

CONCLUSION

The findings of the cross-sectional study show that patients undergoing treatment for arterial hypertension have a high prevalence of subclinical and clinical anxiety (32.2%) and depression (37.9%). The prevalence of sleep disorders (81.1%) and cases of high probability of obstructive sleep apnea (65.5%) was even higher. Moreover, the severity of sleep disorders showed a closer relationship with HADS-A/HADS-D scores. All this allows us to consider sleep disorders as an independent marker of high psychoemotional stress. For example, difficulties falling asleep or early awakenings may indicate hidden or unconscious anxiety; whereas, in addition to anxiety, nighttime awakenings may indicate depression or a high probability of obstructive sleep apnea.

Thus, a simple interview with a patient with arterial hypertension about the quality of sleep, neither taking much time from the attending physician nor requiring openness from the patient, may become an effective tool for the early identification of patients in need of an in-depth examination. In such cases, it is advisable to use special questionnaires and involve professional diagnosticians and healthcare professionals specializing in sleep and psychoemotional disorders. Timely and adequate management of sleep-disordered breathing, anxiety, and depression certainly has a positive effect on the quality of life and prognosis in patients with arterial hypertension.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: A.A. Kazachenko: data curation, writing—original draft, writing—review & editing; A.N. Kuchmin: conceptualization, writing—review & editing; E.P. Golova, A.V. Tanich, V.A. Burletova: data curation; I.M. Borisov, S.Yu. Tytyuk: writing—original draft; M.I. Muzykin: writing—review & editing; M.A. Budkovaia: writing—review & editing.

All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conceptualization, investigation, and manuscript preparation, and reviewed and approved the final version prior to publication).

Ethics approval: The study was approved by the local Ethics committee of the St. Petersburg Medical and Social Institute (Protocol No. 3 dated 03/21/2024).

Funding sources: No funding.

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

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

Data availability statement: All data generated during this study are available in this article.

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

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

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.А. Казаченко — сбор данных, написание черновика рукописи, рассмотрение и одобрение окончательного варианта рукописи; А.Н. Кучмин — дизайн исследования, рассмотрение и одобрение окончательного варианта рукописи; Е.П. Галова, А.В. Танич, В.А. Бурлетова — сбор данных; И.М. Борисов, С.Ю. Тытык — написание черновика рукописи; М.И. Музыкин — научное редактирование рукописи; М.А. Будкова — научное редактирование рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ЧОУВО "Санкт-Петербургский медико-социальный институт" (протокол № 3 от 21.03.2024).

Источники финансирования. Отсутствуют.

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

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

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье.

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

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

REFERENCES | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Drapkina OM, Shishkova VM, Kotova MB. Psychoemotional risk factors for non-communicable diseases in outpatient practice. Guidelines for internists. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2022;21(10):3438. doi: 10.15829/1728-8800-2022-3438 EDN: SAGMPE
2. Kobalava ZD, Konradi AO, Nedogoda SV, et al. 2024 Clinical practice guidelines for Hypertension in adults. *Russian Journal of Cardiology*. 2024;29(9):6117. doi: 10.15829/1560-4071-2024-6117 EDN: GUEWLU
3. Orlova NV, Spiriayakina YaG, Morunov OE. The detection of cortisol level in blood plasma of patients with arterial hypertension at resistance to stress impacts of various degree. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2018;63(4):210–215. doi: 10.18821/0869-2084-2018-63-4-210-215 EDN: YXJGQT
4. Xiong J, Lipsitz O, Nasri F, et al. Impact of COVID-19 pandemic on mental health in the general population: A systematic review. *Journal of Affective Disorders*. 2020;277:55–64. doi: 10.1016/j.jad.2020.08.001 EDN: AGDGGL
5. Morin CM, Belleville G, Bélanger L, Ivers H. The insomnia severity index: psychometric indicators to detect insomnia cases and evaluate treatment response. *Sleep*. 2011;34(5):601–608. doi: 10.1093/sleep/34.5.601
6. Chung F, Abdullah HR, Liao P. STOP-Bang Questionnaire. *Chest*. 2016;149(3):631–638. doi: 10.1378/chest.15-0903
7. Galaktionov DA, Kazachenko AA, Kuchmin AN, et al. Obstructive sleep apnea syndrome. Screening diagnostics. *Bulletin of The Russian Military Medical Academy*. 2016;(2):122–125. EDN: WDCIKJ
8. Li Z, Li Y, Chen L, et al. Prevalence of depression in patients with hypertension. *Medicine*. 2015;94(31):e1317. doi: 10.1097/MD.0000000000001317 EDN: VGEUVH
9. Kaya T, Demir N. Evaluation of patients diagnosed with essential hypertension in terms of mental and personality disorders. *Alpha Psychiatry*. 2024;25(1):54–62. doi: 10.5152/alphapsychiatry.2024.231363 EDN: GIUYPJ
10. Evstifeeva SE, Shalnova SA, Kutsenko VA, et al. Anxiety and depression: ten-year changes of prevalence and its association with demographic and socio-economic characteristics according to the ESSE-RF study. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2023;22(8S):3796. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3796 EDN: ZRQCJG
11. Cai Y, Chen M, Zhai W, Wang C. Interaction between trouble sleeping and depression on hypertension in the NHANES 2005–2018. *BMC Public Health*. 2022;22(1):1–11. doi: 10.1186/s12889-022-12942-2 EDN: MWDJZT
12. Kuchmin AN, Kazachenko AA, Galaktionov DA, Ekimov VV. Assessment of sleep quality and drowsiness in patients with obstructive sleep disorders. *Orenburgskij medicinskij vestnik*. 2021;9(4):27–29. EDN: XNTZQC

AUTHORS' INFO

*** Alexander A. Kazachenko**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;
address: 6 Academician Lebedev st, Saint Petersburg, Russia, 194044;
ORCID: 0000-0002-4578-7893;
eLibrary SPIN: 4346-6785;
e-mail: kazachenko.alex@gmail.com

Alexey N. Kuchmin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-2888-9625;
eLibrary SPIN: 7787-1364;
e-mail: kuchmin63@mail.ru

Elena P. Golova, MD;
ORCID: 0000-0001-7820-0481;
eLibrary SPIN: 7306-8096;
e-mail: galova.elena@gmail.com

Anna V. Tanich, MD;
ORCID: 0009-0006-3349-1813;
eLibrary SPIN: 4059-6128;
e-mail: anya-tanich@yandex.ru

Igor M. Borisov, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-5075-9515;
eLibrary SPIN: 8139-5706;
e-mail: askbo@mail.ru

Maxim I. Muzikin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor;
ORCID: 0000-0003-1941-7909;
eLibrary SPIN: 7169-1489;
e-mail: MuzikinM@gmail.com

Viktoriia A. Burletova, MD;
ORCID: 0009-0005-5300-5141;
eLibrary SPIN: 8199-9956;
e-mail: burletova2000@mail.ru

Marina A. Budkovaia, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0219-1413;
eLibrary SPIN: 4116-3635;
e-mail: marina-laptijova@yandex.ru

Sergei Yu. Tytyuk, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-7380-9332;
eLibrary SPIN: 2475-4340;
e-mail: sergei_tytyuk@mail.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Казаченко Александр Александрович**, канд. мед. наук, доцент;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;
ORCID: 0000-0002-4578-7893;
eLibrary SPIN: 4346-6785;
e-mail: kazachenko.alex@gmail.com

Кучмин Алексей Николаевич, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-2888-9625;
eLibrary SPIN: 7787-1364;
e-mail: kuchmin63@mail.ru

Галова Елена Петровна;
ORCID: 0000-0001-7820-0481;
eLibrary SPIN: 7306-8096;
e-mail: galova.elena@gmail.com

Танич Анна Викторовна;
ORCID: 0009-0006-3349-1813;
eLibrary SPIN: 4059-6128;
e-mail: anya-tanich@yandex.ru

Борисов Игорь Михайлович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-5075-9515;
eLibrary SPIN: 8139-5706;
e-mail: askbo@mail.ru

Музыкин Максим Игоревич, д-р мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-1941-7909;
eLibrary SPIN: 7169-1489;
e-mail: MuzikinM@gmail.com

Бурлетова Виктория Алексеевна;
ORCID: 0009-0005-5300-5141;
eLibrary SPIN: 8199-9956;
e-mail: burletova2000@mail.ru

Будковская Марина Александровна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0219-1413;
eLibrary SPIN: 4116-3635;
e-mail: marina-laptijova@yandex.ru

Тытук Сергей Юрьевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-7380-9332;
eLibrary SPIN: 2475-4340;
e-mail: sergei_tytyuk@mail.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

10. Medveggy M, Duray G, Pinter A, Préda I. body surface potential mapping: historical background, present possibilities, diagnostic challenges. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2002;7(2):139–151. doi: 10.1111/j.1542-474X.2002.tb00155.x EDN: YJIEA
11. Roshchevskaya IM. *Cardioelectric field of warm blooded animals and humans*. Saint Petersburg: Nauka; 2008. ISBN: 978-5-02-026284-3 EDN: RLSJCR
12. de Ambroggi L, Corlan AD. Body surface potential mapping. In: *Macfarlane PW, van Oosterom A, Pahlm O, et al., editors. Comprehensive Electrocardiology*. London: Springer; 2010. P. 1375–1413. doi: 10.1007/978-1-84882-046-3_32
13. Strelnikova SV, Panteleeva NI, Roshchevskaya IM. Spatiotemporal characteristics of the heart electrical field in the period of ventricular depolarization in athletes training endurance and strength. *Human Physiology*. 2014;40(5): 548–553. doi: 10.1134/S0362119714040148 EDN: UVJJBX
14. Panteleeva NI, Roshchevskaya IM. Ventricular repolarization of the heart of cross-country skiers at different stages of the annual training cycle. *Human Physiology*. 2018;44(5):549–555. doi: 10.1134/S0362119718050134 EDN: QMKSHO
15. Ivonina NI, Roshchevskaya IM. Electric field of the heart on the thorax surface in highly trained athletes during initial ventricular activity. *Russian Journal of Physiology*. 2023;109(9):1233–1246. doi: 10.31857/S0869813923090054 EDN: ORUDUO
16. Hainsworth R, Drinkhill MJ, Rivera-Chira M. The autonomic nervous system at high altitude. *Clinical Autonomic Research*. 2007;17(1):13–19. doi: 10.1007/s10286-006-0395-7 EDN: XZWHVB
17. Honda Y. Respiratory and circulatory activities in carotid body-resected humans. *Journal of Applied Physiology*. 1992;73(1):1–8. doi: 10.1152/jappl.1992.73.1.1
18. Brown S, Barnes MJ, Mündel T. Effects of hypoxia and hypercapnia on human HRV and respiratory sinus arrhythmia. *Acta Physiologica Hungarica*. 2014;101(3):263–272. doi: 10.1556/APhysiol.101.2014.3.1
19. Kovalchuk SI, Kovganko AA, Dudchenko LS, et al. Influence hypoxic-hypercapnic training. *Medicina Kyrgyzstana*. 2015;(5):40–45. EDN: XIFBQB
20. Hool LC. Differential regulation of the slow and rapid components of guinea-pig cardiac delayed rectifier K⁺ channels by hypoxia. *The Journal of Physiology*. 2004;554(3):743–754. doi: 10.1113/jphysiol.2003.055442
21. Coustet B, Lhuissier FJ, Vincent R, Richalet JP. Electrocardiographic Changes During Exercise in Acute Hypoxia and Susceptibility to Severe High-Altitude Illnesses. *Circulation*. 2015;131(9):786–794. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.013144
22. Zamenina EV, Panteleeva NI, Roshchevskaya IM. The heart electric field of man during ventricular repolarization under hypoxic influence. *Russian Journal of Physiology*. 2017;103(11):1330–1338. EDN: ZRRRDZ
23. Zamenina EV, Panteleeva NI, Roshchevskaya IM. Heart electrical activity during ventricular repolarization in subjects with different resistances to hypoxia. *Human Physiology*. 2019;45(6):634–641. doi: 10.1134/S0362119719050207 EDN: MMPZWP
24. Castro-Torres Y. Tp-e interval and Tp-e/QTc ratio: new choices for risk stratification of arrhythmic events in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *The Anatolian Journal of Cardiology*. 2017;17(6):493–493. doi: 10.14744/AnatoJCardiol.2017.7865
25. Tse G, Yan BP. Traditional and novel electrocardiographic conduction and repolarization markers of sudden cardiac death. *EP Europace*. 2016;19(5):712–721. doi: 10.1093/europace/euw280
26. Clemente D, Pereira T, Ribeiro S. Repolarização ventricular em pacientes diabéticos: caracterização e implicações clínicas. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. 2012;99(5):1015–1022. doi: 10.1590/S0066-782X2012005000095
27. Akhundov R, Akhundova Kh. Energetical mechanisms of oxidative stress, endogenous and exogenous hypoxia. *Biomedicine*. 2009;(3):3–9.
28. Ivonina NI, Fokin AA, Roshchevskaya IM. Body surface potential mapping during heart ventricular repolarization in male swimmers and untrained persons under hypoxic and hypercapnic hypoxia. *High Altitude Medicine & Biology*. 2021;22(3):308–316. doi: 10.1089/ham.2020.0103 EDN: LICCW
29. Panteleeva NI, Roshchevskaya IM. The heart electric field on the thorax surface of sportsmen-swimmers during ventricular repolarization under acute normobaric hypoxia. *Russian Journal of Physiology*. 2016;102(11):1383–1393. EDN: XYGYMZ

ОБ АВТОРАХ

* Заменина Елена Всеволодовна;

адрес: Россия, 167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24;
ORCID: 0000-0002-3438-6365;
eLibrary SPIN: 2894-6435;
e-mail: e.mateva@mail.ru

Ивонина Наталья Ивановна, канд. биол. наук;

ORCID: 0000-0002-5802-3753;
eLibrary SPIN: 8667-3261;
e-mail: bdr13@mail.ru

Фокин Андрей Александрович;

ORCID: 0000-0002-2038-2515;
eLibrary SPIN: 1060-3535;
e-mail: fokin.90@inbox.ru

Роцевская Ирина Михайловна, д-р биол. наук, профессор,

член-корреспондент РАН;
ORCID: 0000-0002-6108-1444;
eLibrary SPIN: 5424-2991;
e-mail: compcard@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Elena V. Zamenina;

address: 24 Kommunisticheskaya st, Syktyvkar, Russia, 167982;
ORCID: 0000-0002-3438-6365;
eLibrary SPIN: 2894-6435;
e-mail: e.mateva@mail.ru

Natalya I. Ivonina, Cand. Sci. (Biology);

ORCID: 0000-0002-5802-3753;
eLibrary SPIN: 8667-3261;
e-mail: bdr13@mail.ru

Andrei A. Fokin;

ORCID: 0000-0002-2038-2515;
eLibrary SPIN: 1060-3535;
e-mail: fokin.90@inbox.ru

Irina M. Roshchevskaya, Dr. Sci. (Biology), Professor,

Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences;
ORCID: 0000-0002-6108-1444;
eLibrary SPIN: 5424-2991;
e-mail: compcard@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author