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

Экология человека

EKOLOGIYA CHELOVEKA
(HUMAN ECOLOGY)

Volume 30, Issue 1, 2023

1
Том 30
2023

ЭКО • ВЕКТОР

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

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

ИЗДАТЕЛЬ:
ООО «Эко-Вектор»
Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург, Аптекарский переулок, д. 3, литера А, помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: https://eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ:
Адрес: 163069, г. Архангельск, пр. Троицкий, 51.
Тел. +7 (818) 220 6563;
E-mail: he-office@eco-vector.com

ИНДЕКСАЦИЯ:
– SCOPUS
– Google Scholar
– Ulrich's Periodicals directory
– ядро РИНЦ
– Russian Science Citation Index
– Norwegian National Center for Research Data
– реферативный журнал и база данных ВИНИТИ
– Global Health
– CAB Abstracts
– ProQuest
– InfoBase Index
– EBSCO Publishing (на платформе EBSCOhost)
– КиберЛенинка

Оригинал-макет подготовлен в издательстве «Эко-Вектор».
Литературный редактор: Н.А. Лебедева
Корректор: Н.А. Лебедева
Вёрстка: О.В. Устинкова
Перевод: А.А. Богачев

Сдано в набор 22.02.2023.
Подписано в печать 27.02.2023.
Формат 60 × 88⅛. Печать офсетная.
Заказ . Цена свободная.
Печ. л. 19,75. Уч.-изд. л. 9,07. Усл. печ. л. 5,3.
Тираж 300 экз.
Отпечатано в ООО «Типография Экспресс B2B» 191180, Санкт-Петербург, наб. реки Фонтанки, д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1.
Тел.: +7 (812) 646 33 77

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

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

ОТДЕЛ РЕКЛАМЫ:
Тел.: +7(495) 308-83-89
E-mail: adv@eco-vector.com

Экология человека. 2023. Т. 30, № 1.

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

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Ежемесячный научный рецензируемый журнал

Том 30 • № 1 • 2023

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

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

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

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

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

ЭКО • ВЕКТОР

FOUNDERS:
- Northern State Medical University;
- Eco-Vector

PUBLISHER:
Eco-Vector
Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky pereulok, 191186, Saint Petersburg Russian Federation
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:
compleated in Eco-Vector
Copyeditor: N.A. Lebedeva
Proofreader: N.A. Lebedeva
Layout editor: O.V. Ustinkova
Translator: A.A. Bogachev

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

ADVERTISMENT DEPARTMENT:
Phone: +7 (495) 308 83 89
E-mail: adv@eco-vector.com

Ekologiya cheloveka (Human Ecology). 2023; 30(1).

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

EKOLOGIYA CHELOVEKA (HUMAN ECOLOGY)

Monthly peer-reviewed journal

Volume 30 • Issue 1 • 2023

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

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

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

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

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

ECO • VECTOR

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco115234

Роль гема в экологически обусловленном онкогенезе (обзор литературы)

С.К. Пинаев[1, 2]

[1] Дальневосточный государственный медицинский университет, Хабаровск, Российская Федерация;
[2] Хабаровский федеральный исследовательский центр, Хабаровск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Связь гемобластозов, опухолей центральной нервной системы и ряда других новообразований человека с различными факторами внешней среды химической и физической природы общеизвестна. Однако механизм такой связи остаётся неясным. На основании анализа литературы автором сформулирована концепция экологически обусловленного онкогенеза, ключевую роль в которой играет гем. Согласно предложенной модели, первый этап онкогенеза заключается в индукции экологически обусловленного окислительного стресса, который на следующем этапе многократно усиливается железом гема. Параллельно с этим, благодаря ферромагнитным свойствам железа гема, происходят приём, индукция и усиление внешних электромагнитных полей с формированием петли обратной связи и дополнительной стимуляцией оксидативных процессов. Вследствие этого под воздействием активных кислородных метаболитов развивается эпигеномная дисрегуляция семафоринов в тканях-мишенях, имеющих наибольший контакт с гемом. Это в свою очередь приводит к запуску процесса опухолевой трансформации в активно пролиферирующих клетках конуса роста аксона, костного мозга, в предшественниках клеток почек, в стволовых мезенхимальных клетках и в эндотелии. В результате возникают доброкачественные опухоли эндотелия (гемангиомы), лейкозы, лимфомы, опухоли периферической и центральной нервной системы, доброкачественные и злокачественные опухоли мягких тканей. Предложенная модель хорошо объясняет особенности детской онкологической заболеваемости с преобладанием среди доброкачественных опухолей гемангиом, а среди злокачественных новообразований — гемобластозов и опухолей нервной системы. Помимо этого, способность гема к взаимодействию с электромагнитными полями позволяет приблизиться к пониманию связи новообразований с активностью Солнца.

Ключевые слова: гем; факторы внешней среды; экология, рак; злокачественные новообразования; онкогенез; канцерогенез.

Как цитировать:
Пинаев С.К. Роль гема в экологически обусловленном онкогенезе (обзор литературы) // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 5–15.
DOI: https://doi.org/10.17816/humeco115234

Рукопись получена: 08.12.2022 **Рукопись одобрена:** 19.01.2023 **Опубликована online:** 26.01.2023

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco115234

The role of heme in environmentally caused oncogenesis (review)

Sergey K. Pinaev[1, 2]

[1] Far Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russian Federation;
[2] Khabarovsk Federal Research Center, Khabarovsk, Russian Federation

ABSTRACT

The association of hemoblastoses, tumours of the central nervous system, with several other human neoplasms with various environmental factors of a chemical and physical nature has been previously established. Nonetheless, the mechanism of this relationship remains unclear. The author formulated the concept of environmentally determined oncogenesis with a key role of heme. According to the proposed model, the first stage of oncogenesis is the induction of environmentally determined oxidative stress, which is amplified by haem iron. Simultaneously, due to the ferromagnetic properties of heme iron reception, the induction and amplification of external electromagnetic fields occur with the formation of a feedback loop and additional stimulation of oxidative processes. Further, under the influence of active oxygen metabolites in target tissues with the greatest contact with heme, epigenomic dysregulation of semaphorin is developed. This leads to oncogenesis in actively proliferating cells of the axon growth cone, bone marrow, precursors of kidney cells, mesenchymal stem cells and endothelium. Consequently, benign tumours of the endothelium (hemangiomas), leukemias, lymphomas, tumours of the peripheral and central nervous system, as well as benign and malignant tumours of soft tissues occur. The proposed model illustrates the features of childhood oncology incidence with a predominance of hemangiomas among benign tumours, as well as hemoblastoses and tumours of the nervous system among cancers. In addition, the ability of heme to interact with electromagnetic fields advances our understanding of the relationship between neoplasms and solar activity.

Keywords: heme; environmental factors; ecology; cancer; tumor; oncogenesis; carcinogenesis.

To cite this article:
Pinaev SK. The role of heme in environmentally caused oncogenesis (review). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(1):5–15.
DOI: https://doi.org/10.17816/humeco115234

Received: 08.12.2022 **Accepted:** 19.01.2023 **Published online:** 26.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

Жизнь постоянно дарит нам примеры действия законов диалектики, в частности закона единства и борьбы противоположностей. Одним из ярких проявлений такого неразрывного сплетения является гем, который, с одной стороны, обеспечивает саму возможность жизни, а с другой — несёт в себе угрозу её существованию. Данный обзор посвящён роли гема в экологически обусловленном онкогенезе.

Значение факторов внешней среды в возникновении новообразований общепризнано [1]. Чувствительным индикатором экологически обусловленных канцерогенных воздействий на популяцию является частота опухолей у детей, особенно младшего возраста, в силу преимущественно пренатального генеза и относительно коротких сроков развития неоплазий [2]. Воздействием факторов внешней среды, включая табачный дым и профессиональные вредности у родителей, обусловлены до 15% злокачественных новообразований у детей, в том числе до 21% случаев лейкоза, 16% лимфом и 2% опухолей центральной нервной системы [3].

Большое значение среди канцерогенных экологических факторов придаётся дыму и электромагнитным полям естественного и антропотехногенного происхождения [4]. Существует связь различных видов дыма с развитием в детском возрасте гемангиом, лейкоза, лимфом, ретинобластомы, гепатобластомы и опухолей центральной нервной системы [2, 5]. Имеются данные о влиянии активности Солнца на риск возникновения гемангиом, нефробластом, сарком мягких тканей у детей, а также гемобластозов у лиц всех возрастов [2, 5, 6]. Отражением воздействия факторов внешней среды на популяцию России является, в частности, постоянный прирост заболеваемости новообразованиями центральной нервной системы, а также лимфатической и кроветворной ткани, который, по данным Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена, составил в 2011–2021 гг. 12,99 и 16,54% соответственно [7].

В настоящее время установлена важная роль экологически обусловленного окислительного стресса (EROS — от *англ.* environmentally related oxidative stress) в реализации канцерогенного потенциала факторов внешней среды [2, 8]. Способностью индуцировать EROS обладают самые различные факторы, в том числе бисфенол А, микрочастицы углерода $PM_{2,5}$ и PM_{10}, дым различной природы [5] и электромагнитные поля [5, 9]. Однако механизм индуцируемого EROS процесса онкогенеза остаётся неясным. Анализ литературных данных позволяет предложить гипотезу опухолевой трансформации под воздействием экологических факторов, в которой ключевую роль играет гем.

РОЛЬ ГЕМА В ОРГАНИЗМЕ

Гем является простетической группой белков семейства глобинов. Помимо глобинов, гем входит в состав таких ферропротеинов, как цитохром С, цитохром р450, каталаза, пероксидаза, оксидоредуктаза, сукцинатдегидрогеназа, и множества других [10, 11]. В основе гема находится тетрапиррольная ароматическая структура протопорфирина IX, в состав которого входит двухвалентный ион железа Fe^{2+} [12]. Исключительная роль гема в организме обусловлена биологическими функциями белков, содержащих этот важнейший металл.

Практически всё метаболически активное железо находится в связанном с белками состоянии, при этом 90% железа содержится в геме клеток крови, макрофагов и печени [13]. После эритроцитов наибольшее количество железа содержат клетки головного мозга [14]. Из общего количества железа в организме (3–5 г) более половины (2100 мг) входит в состав клеток крови и костного мозга, 600 мг содержится в макрофагах, 1000 мг находится в печени, и лишь около 400 мг железа входят в состав других клеток организма [13].

Гем, помимо транспорта и хранения кислорода (O_2), обеспечивает перенос электронов для ферментативных окислительно-восстановительных реакций, участвующих в детоксикации ксенобиотиков и продуктов эндогенного распада, метаболизме окиси азота (NO), нейтрализации активных кислородных метаболитов (АКМ) и контроле экспрессии генов [11, 13, 15]. Железо имеет решающее значение для клеточной пролиферации, а его истощение приводит к подавлению синтеза ДНК [16].

Гем пищи служит основным источником биодоступного железа в рационе человека [10]. Главным центром по аккумуляции и утилизации железа являются митохондрии. Внеклеточное железо поглощается клетками и транспортируется в митохондрии. В митохондриях оно используется для синтеза кофакторов, необходимых для функционирования ферментов, которые участвуют в окислительно-восстановительных реакциях, синтезе и репарации ДНК, а также во многих других клеточных процессах. Синтез гема полностью зависит от митохондрий [11].

ГЛОБИНЫ

В группу глобинов у человека помимо широко известных гемоглобина и миоглобина входят также цитоглобин, нейроглобин и андроглобин [10, 11, 15].

Цитоглобин является эволюционно древним гемоглобином, широко экспрессируемым в соединительной, мышечной, центральной и периферической нервной ткани. Помимо этого, цитоглобин обнаружен в клетках глаза, сердца, аорты, эндотелия, в сосудистой стенке, лёгких, желудочно-кишечном тракте, печени и почках [15]. Нейроглобин широко представлен в тканях центральной и периферической нервной системы, глаза, сердца и аорты, желудочно-кишечного тракта, поджелудочной железы и мужских половых органов [15]. Андроглобин усиленно экспрессируется в семенниках, положительно коррелируя с фертильностью [15].

До 8% общего количества железа в организме человека содержится в миоглобине [13]. Помимо скелетной мускулатуры, миоглобин присутствует также в сердце, аорте, эндотелии, в сосудистой стенке и в центральной нервной системе. Функциями миоглобина являются транспорт и облегчение диффузии кислорода из сарколеммы в митохондрии скелетной и сердечной мышцы, а также кратковременное хранение кислорода в сердце во время систолы в момент прерывания кровотока [15].

ГЕМОГЛОБИН

Наиболее распространённым среди гем-содержащих белков является гемоглобин. На него приходится 62% железа в организме [13]. Помимо клеток красной крови, гемоглобин содержится также в эндотелии, клетках центральной нервной системы и глаза, сосудистой стенки, лёгких, желудочно-кишечного тракта, печени, почек и женских половых органов [15].

В организме гемоглобин выполняет транспортно-дыхательную и буферную функции [17]. Перенос связанного с гемом кислорода из лёгких во все ткани организма осуществляется посредством связанных с оксигенацией сдвигов конформационного равновесия гемоглобина между напряжённым (дезоксигемоглобин) и расслабленным состоянием (оксигемоглобин). На равновесие между этими формами гемоглобина влияют углекислый газ (CO_2) и ионы водорода [17]. В дезоксигемоглобине железо находится в закисной форме — Fe(II), в которой глобин предохраняет железо гема от окисления. Оксигемоглобин — это результат соединения гемоглобина с молекулярным кислородом, при котором перенос электрона на кислород происходит не от железа, а от имидазольного кольца проксимального гистидина [18].

Помимо обратимого связывания O_2, гемоглобин вовлечён в специфический транспорт CO_2, монооксида углерода (угарного газа), NO и ионов водорода. Токсичный NO может быть преобразован оксигемоглобином в нитрат, а дезоксигемоглобин способен обратить это превращение в условиях гипоксии, вызывая расширение кровеносных сосудов [15].

РОЛЬ ГЕМА В РАЗВИТИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА

Гем — источник окислительного стресса

При определённых условиях гем может являться индуктором и усилителем EROS. Токсичность гема определяется его пероксидазной активностью и способностью генерировать АКМ, а также интеркалировать в мембраны и неспецифически связывать многие белки. Многие предшественники синтеза гема и продукты его распада также токсичны [10].

Через реакцию Фентона железо катализирует образование гидроксильных радикалов [19]. При избытке железа в тканях его взаимодействие как переходного металла, меняющего валентность в окислительно-восстановительных реакциях с O_2 приводит к нарушению редокс-гомеостаза и катализирует распространение АКМ с развитием окислительного стресса [16, 20].

В эксперименте [14] показано, что введение животным двухвалентного железа приводит к увеличению концентрации супероксидных ионов и различных перекисных окислительных эквивалентов. Вследствие этого избыточное количество железа в организме несёт опасность цитотоксических эффектов в связи с запуском цепных свободнорадикальных реакций, приводящих к перекисному окислению липидов биологических мембран, токсическому повреждению белков и нуклеиновых кислот [13] с последующей гибелью клеток [16]. В целом образование АКМ тесно связано с железом во всём организме [20].

Окисление гемоглобина

В крови взрослого человека ежедневно окисляется около 3% циркулирующего гемоглобина [12]. Взаимодействие молекулярного кислорода со свободным гемом приводит к необратимому окислению атома железа гема, при котором Fe(II) переходит в Fe(III) с образованием метгемоглобина [18, 21]. Метгемоглобин является непатологическим метаболитом гемоглобина, не способным к дальнейшему связыванию кислорода [12, 18].

В крови постоянно содержится небольшая доля метгемоглобина на уровне 1–2% от общего количества гемоглобина. В небольшой концентрации метгемоглобин играет положительную роль, блокируя ряд анионов (CN^-, OCN^-, SCN^-), имеющих высокое сродство к Fe(III) и способных, связываясь с железом цитохромов, блокировать дыхательную цепь митохондрий [12].

Интенсивность образования метгемоглобина существенно возрастает в условиях гипоксии и окислительного стресса [12]. Неблагоприятным следствием образования метгемоглобина является то, что он не может адекватно насыщать кислородом ткани (способствуя развитию гипоксии [22]), а также неизбежное возникновение при этом процессе супероксидного радикала [18, 21].

Одним из путей дальнейшего метаболизма супероксидного радикала является реакция дисмутации с образованием пероксида водорода. В то время как заряжённый супероксидный радикал может попадать в клетки только через трансмембранные анионные каналы, пероксид водорода способен проникать через клеточные мембраны так же легко, как вода [12].

При окислении гемоглобина происходит коллапс его структуры и высвобождение гема, продукты распада которого являются очень токсичными и приводят к образованию АКМ [10]. Остаточные количества невосстановленного метгемоглобина обладают низким сродством к гему простетической группы, в результате чего образуется

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco115234

свободный гемин. Гемин взаимодействует с гидропероксидами липидов, приводя к генерации липофильных радикалов [12].

В эритроците содержится 340 млн молекул гемоглобина, который составляет 35% от общей массы эритроцитов [17]. Присутствие в мембранах эритроцитов полиненасыщенных жирных кислот в сочетании с содержащей железо богатой кислородом средой делает эритроциты весьма подверженными окислительному стрессу, приводя к активации перекисного окисления липидов и окислительному повреждению белков [21].

Вследствие того, что фетальный гемоглобин, по сравнению со взрослыми формами, в значительно большей степени склонен к окислению в метгемоглобин [22], этот процесс особенно выражен в организме плода и детей раннего возраста. Другой критический период связан с процессами инволюции. Как установлено в эксперименте, в процессе старения происходит возрастное истощение антиоксидантной системы эритроцитов и их микроокружения, что приводит к усилению гемолиза эритроцитов и нарастанию свободнорадикальных процессов в позднем онтогенезе [23].

Таким образом, железо гема является потенциальным источником и усилителем окислительного стресса, ведущего к неопластической трансформации.

Гем — приёмник электромагнитных волн

Причиной EROS могут являться не только факторы химической природы, но и электромагнитные поля как антропотехногенного происхождения [9], так и связанные с активностью Солнца [24]. Особая чувствительность организма отмечена в области низких частот и амплитуд [9, 25]. Переменное магнитное поле оказывает более эффективное воздействие на организм по сравнению с постоянным магнитным полем [25].

В связи с этим следует отметить, что помимо неспецифической способности гема к индукции и усилению оксидативного стресса, ему присущи также специфические потенции, обусловленные ферромагнитными свойствами входящего в его состав железа [26]. Влияние на организм электромагнитные поля оказывают преимущественно через гем глобинов [10, 11, 26] и ферропротеинов митохондрий [11, 24].

В связи с ферромагнитными свойствами гема в условиях внешнего магнитного поля меняется ориентация отдельных эритроцитов в направлении внешнего поля [26]. В целом способность крови реагировать на внешние магнитные поля определяется взаимодействием между гемоглобином внутри эритроцита и эритроцитарной мембраной, а также электропроводностью плазмы крови. Эритроцит проявляет диамагнитные и парамагнитные свойства в зависимости от насыщенности кислородом, ориентируясь параллельно линиям внешнего магнитного поля [27].

Всеобъемлющим источником электромагнитных полей является Солнце. Все физические процессы, происходящие в Солнечной системе и во всех оболочках Земли, от литосферы до атмосферы, ионосферы, магнитосферы и биосферы, модулируются процессами, происходящими на Солнце. Присутствие как импульсных, так и периодических солнечных составляющих наблюдается во всех геофизических и биологических системах [28].

Вследствие наличия у Земли собственного магнитного поля существует защитный геомагнитный барьер [26]. Возмущения солнечного ветра вызывают ответные колебания геомагнитного поля Земли, в наибольшей степени в области полярного овала, куда преимущественно высыпаются протоны солнечного ветра [28].

На уровне организма низкочастотные вариации плотности солнечного ветра могут стимулировать развитие вариаций геомагнитного поля широкого частотного диапазона, резонирующих с собственными частотами органов и систем [29]. Эти воздействия могут являться биоэффективными для головного мозга и эндокринной системы человека и провоцировать запуск активизации цепи «гипоталамус–гипофиз–кора надпочечников», что приводит организм к стрессовому состоянию [29].

Тяжесть реакции на магнитные бури зависит от сбалансированности работы органов человека [30]. В максимуме солнечной активности на первое место выходят эффекты адаптации человеческого организма к нестационарным возмущениям геомагнитного поля [30]. Во время магнитной бури содержание стрессорных гормонов (норадреналина, кортизола) существенно возрастает, резко изменяется вязкость крови, происходит замедление капиллярного кровотока и образуются агрегаты эритроцитов. Сбои ритмов природных электромагнитных полей вызывают адаптационный стресс, который в свою очередь приводит к оксидативному стрессу [29].

Гем — генератор электромагнитных полей

Движение свободных ионов внутри организма, вызванное внешними электромагнитными полями естественного и антропотехногенного происхождения, индуцирует слабое магнитное поле, сопоставимое по своему значению с собственными магнитными полями человеческого организма [27]. Электрические и магнитные поля образуются в биологических субстратах на разных уровнях рецепции: субмолекулярном, молекулярном, структурном и органном [24].

Помимо этого, в организме происходит генерация собственных электромагнитных волн, связанная с кровотоком. Движение эритроцитов путём вращения в радиальной плоскости сосудов впервые обнаружено А.Л. Чижевским [31]. В настоящее время установлено, что эритроциты катятся вдоль сосудистой стенки, вращаясь со скоростью 10 оборотов в секунду, при этом электрические заряды на их мембранах генерируют магнитное поле в окружающем пространстве [32]. Помимо этого, поскольку кровеносная система с точки зрения физики является приёмным контуром [24], воздействие на неё внешних магнитных полей в соответствии с законом электромагнитной индукции

Фарадея приводит к генерации вторичных электрических токов.

Гем — усилитель электромагнитных полей

Усиление электромагнитных волн происходит на клеточном и тканевом уровнях. Воздействие магнитного поля изменяет проводимость клеточных мембран и увеличивает электрическое сопротивление и ёмкость эритроцитов. Магнитные моменты молекул гемоглобина в эритроците упорядочиваются и подстраиваются друг под друга, образуя магнитный момент эритроцита. Магнитное поле намагничивает эритроцит и приводит к увеличению его внутренней энергии [25]. Ориентация эритроцитов в направлении внешнего магнитного поля приводит к объединению их в кластеры с формированием магнитных доменов, при этом возникающее собственное магнитное поле доменов во много раз превышает породившее его внешнее поле [26]. В случае совпадения частотных характеристик магнитного поля с собственными колебаниями молекул клеток происходит значительное увеличение биологического воздействия [24].

ТКАНИ-МИШЕНИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА

Персистирующий окислительный стресс, катализируемый железом, играет существенную роль в индукции опухолей, приводя к повреждению ДНК, мутациям и трансформации клеток [16]. Помимо этого, дисбаланс внутриклеточной среды, вызванный оксидативным стрессом, может запустить эпигенетические механизмы регуляции экспрессии генов без изменения последовательности ДНК.

Основной эпигенетической модификацией ДНК является метилирование цитозина в составе динуклеотида цитозин-фосфат-гуанин (cytosinephosphate-guanine, CpG). Фрагменты ДНК, богатые такими динуклеотидами (CpG-островки), в норме деметилированы, тогда как геном в целом гиперметилирован, что имеет существенное значение в поддержании стабильности хромосом. Для злокачественного перерождения, напротив, характерно гипометилирование генома в целом, что приводит к его нестабильности и активизации протоонкогенов с одновременным гиперметилированием генов-супрессоров опухолей и нарушением их функции [33, 34].

Эпигенетическая дисрегуляция также может быть обусловлена изменениями экспрессии некодирующих РНК. Эпигеномные модификации гистонов наиболее часто заключаются в метилировании и ацетилировании, однако они могут подвергаться также фосфорилированию, убиквитинилированию, рибозилированию и другим изменениям [33, 34].

Одним из критически важных последствий воздействия EROS является эпигеномная дисрегуляция семафоринов. К семафоринам относится обширное семейство секретируемых мембранных и плазматических белков с широким спектром биологических функций. Эпигеномная дисрегуляция семафоринов имеет место при самых различных новообразованиях, таких как рак желудка [35], толстой кишки [36], лёгкого [37], почки [38] и печени [39].

Все семафорины принадлежат к домену SEMA. Их рецепторы подразделяют на две больших группы — плексины и нейропилины. Как семафорины, так и их рецепторы принимают участие в органогенезе, эмбриогенезе, в сигнальных процессах аксонального наведения, ангиогенезе и в иммунных реакциях [40]. Семафорины также активно экспрессируются в мезенхимальных стволовых клетках [41], играют важную роль в управлении развитием сосудистых и нейронных сетей сетчатки и почки [40, 42].

Установлено также, что семафорины участвуют в регуляции опухолевого роста [40, 42]. Часть из них обладает преимущественно противоопухолевым действием, как, например SEMA3A, ингибирующий ангиогенез [42], а также SEMA3F и SEMA3G [43, 44].

Другие, такие как SEMA4A, SEMA4D, SEMA5A и SEMA7A, являются промоторами ангиогенеза и опухолевой прогрессии [42, 44]. Показана важная роль SEMA4D в развитии детской лейкемии [45] и неходжкинской лимфомы [40], SEMA3D — в генезе глиом [40]. Нейропилины также могут действовать как корецепторы для факторов роста и усиливать их сигнальную активность, в то время как семафорины 3-го класса препятствуют этому [43].

Ряд семафоринов (SEMA3B, SEMA3C, SEMA3D, SEMA3E и SEMA6A) проявляют двойственный потенциал, в одних случаях способствуя прогрессированию опухоли, а в других выступая в качестве ингибиторов опухолевого роста [40, 42, 43]. Причины такой двойственности до конца не ясны. Возможно, она зависит от стадии развития опухоли и тканеспецифического контекста, являясь результатом посттрансляционной обработки и формирования сложных ассоциаций между рецепторами семафоринов, а также рецепторами адгезии, факторов роста и тирозинкиназ [42, 43, 46].

В силу вышеизложенного понятно, что весьма подвержены онкогенному воздействию EROS органы и ткани, имеющие наибольший контакт с гемом либо являющиеся местом его высокой концентрации. К таковым, в частности, можно отнести эндотелий сосудов, костный мозг, печень, почки, глаз, все виды нервной ткани. В перечисленных органах и тканях отмечена также высокая активность семафоринов. В связи с этим указанные органы и ткани можно рассматривать в качестве наиболее уязвимых мишеней EROS.

СВЯЗЬ ГЕМА С НОВООБРАЗОВАНИЯМИ

Обнаружены связи между железом гема и раком, касающиеся репарации ДНК, целостности генома и передачи онкогенных сигналов [47]. Вызванное окислительным стрессом, индуцированным железом гема, повреждение ДНК может в последующем содействовать росту и метастазированию опухоли [16, 19].

Пролиферация опухолевых клеток требует повышенного поступления железа, поскольку ДНК-полимеразы и хеликазы содержат железосерные группы. Это преобразует репликацию ДНК в один из многочисленных синтетических и метаболических путей, в которых железо является важным кофактором. Доступность железа для опухолевых клеток влияет как на выживаемость клеток, так и на скорость их роста, и течение опухолевой болезни в целом [19]. Неоангиогенез также зависит от железа из-за его влияния на активацию индуцируемого гипоксией фактора транскрипции (HIF) и продукцию фактора роста эндотелия сосудов (VEGF), а также на функцию эндотелиальных клеток [19].

Гем красного мяса является основным источником железа в рационе людей [10]. В настоящее время установлено, что избыток железа способствует развитию лейкемии [48]. Снижение уровня этого металла в организме путем его хелатирования, кровопускания либо диеты с низким содержанием железа, напротив, уменьшает вероятность возникновения злокачественного новообразования [14]. Систематический обзор и метаанализ [49] в глобальном масштабе показал, что потребление красного мяса связано с повышенным риском развития рака. Это подтверждает важную роль гема в канцерогенезе [47, 49].

СХЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННОГО ОНКОГЕНЕЗА

На основе приведённого выше анализа литературы можно представить концептуальную схему пяти этапов экологически обусловленного онкогенеза следующим образом (рис. 1).

На первом этапе происходит индукция EROS факторами внешней среды, такими как бензол выхлопных газов автомобилей, микрочастицы углерода, диоксины, полициклические ароматические углеводороды, электромагнитные поля и многие другие [4].

Суть второго этапа заключается в многократном усилении железом гема окислительного стресса, приводящего в результате циклической цепной реакции «АКМ→гем→АКМ» к лавинообразному нарастанию количества образующихся агрессивных радикалов.

Параллельно со вторым этапом разворачивается третий, в процессе которого благодаря ферромагнитным

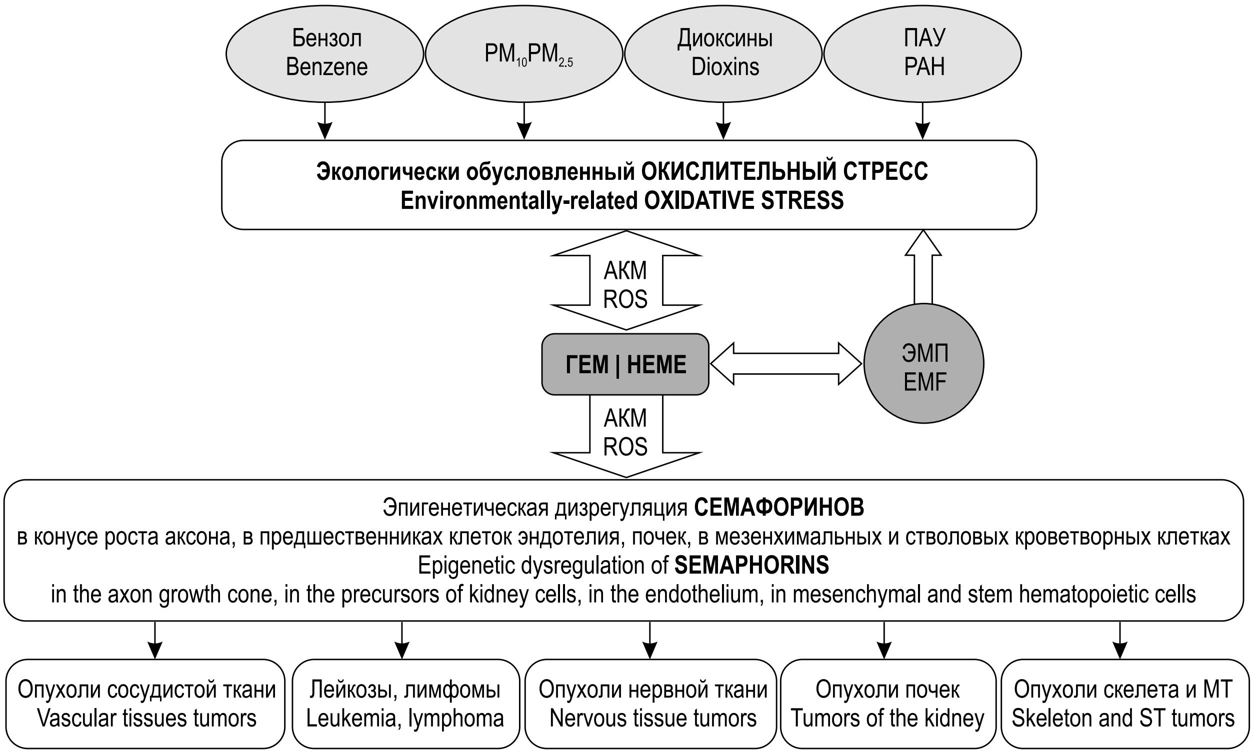


Рис. 1. Схема экологически обусловленного онкогенеза: $PM_{2,5}$ и PM_{10} — частицы углерода размером 2,5 и 10 мкм соответственно, ПАУ — полициклические ароматические углеводороды, АКМ — активные кислородные метаболиты, ЭМП — электромагнитные поля, МТ — мягкие ткани.

Fig. 1. Scheme of environmentally-related oncogenesis: $PM_{2.5}$ and PM_{10} — carbon particles 10 μm and 2.5 μm in size, respectivelz; PAHs — polycyclic aromatic hydrocarbons; ROS — reactive oxygen species; EMF — electromagnetic fields; ST — soft tissues.

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco115234

свойствам входящего в состав гема железа происходят приём, индукция и усиление электромагнитных полей с формированием петли обратной связи и дополнительной стимуляцией окислительного стресса.

На четвёртом этапе под воздействием EROS происходит эпигенетическая дисрегуляция семафоринов в активно пролиферирующих тканях, имеющих наибольший контакт с гемом: в клетках конуса роста аксона, костного мозга, стволовых мезенхимальных клетках, в предшественниках клеток почек и в эндотелии.

Вследствие этого на пятом этапе запускается опухолевая трансформация, приводящая к возникновению новообразований в тканях-мишенях. В результате возникают доброкачественные опухоли эндотелия (гемангиомы), лейкозы, лимфомы, опухоли периферической и центральной нервной системы, доброкачественные и злокачественные опухоли скелета и мягких тканей. А после возникновения новообразований EROS способствует их прогрессированию и метастазированию [16, 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Роль гема в экологически обусловленном онкогенезе определяется как его неспецифической потенцией к увеличению интенсивности свободнорадикальных процессов, так и обусловленной ферромагнитными свойствами входящего в его состав железа специфической способностью к приёму, генерации и усилению электромагнитных полей.

Предложенная концепция объясняет особенности спектра новообразований детского возраста, заключающиеся в преобладании среди доброкачественных опухолей гемангиом, а среди злокачественных новообразований — гемобластозов и опухолей нервной ткани. Наличие критических периодов в виде повышенной склонности гемоглобина к окислению у детей и пожилых людей подтверждается повышенной частотой возникновения экологически обусловленных неоплазий в этих возрастных группах. А способность гема к взаимодействию с электромагнитными полями позволяет приблизиться к пониманию связей новообразований с активностью Солнца.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, одобрение финальной версии перед публикацией).

Authors' contribution. Author confirms that his authorship complies with the international ICMJE criteria (significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Финансирование. Исследование и подготовка публикации проведены на личные средства автора.

Funding sources. Study and publication prepared without external funding.

Конфликт интересов. Конфликта интересов нет.

Competing interests. There is no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А., Чижов А.Я., Ким Т.А. Болезни цивилизации // Экология человека. 2003. № 4. С. 8–11.
2. Пинаев С.К., Чижов А.Я., Пинаева О.Г. Критические периоды адаптации к дыму и солнечной активности на этапах онтогенеза (обзор литературы) // Экология человека. 2021. Т. 28, № 11. С. 4–11. doi: 10.33396/1728-0869-2021-11-4-11
3. Nelson L., Valle J., King G., et al. Estimating the proportion of childhood cancer cases and costs attributable to the environment in California // Am J Public Health. 2017. Vol. 107, N 5. P. 756–762. doi: 10.2105/AJPH.2017.303690
4. World Health Organization. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. List of Classifications. Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1–131. Дата обращения: 06.12.2022. Доступ по ссылке: https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications
5. Пинаев С.К., Чижов А.Я., Пинаева О.Г. Связь дыма и солнечной активности с новообразованиями человека // Казанский медицинский журнал. 2022. Т. 103, № 4. С. 650–657. doi: 10.17816/KMJ2022-650
6. Пинаев С.К., Чижов А.Я., Пинаева О.Г. Связь активности Солнца и дыма с трендами гемобластозов в России // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2022. Т. 31, № 3. С. 100–110. doi: 10.21870/0131-3878-2022-31-3-100-110
7. ONCOLOGY.RU [интернет]. Злокачественные новообразования в России. Дата обращения: 17.01.2023. Доступ по ссылке: http://www.oncology.ru/service/statistics/malignant_tumors/
8. Чижов А.Я., Пинаев С.К., Савин С.З. Экологически обусловленный оксидативный стресс как фактор онкогенеза // Технологии живых систем. 2012. Т. 9, № 1. С. 47–53.
9. Аббасова М.Т., Гаджиев А.М. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения дециметрового диапазона на показатели железа в сыворотке у крыс. В кн.: VIII Международный конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине»: научные труды конгресса; Санкт-Петербург, 10–14 сентября 2018 года; Санкт-Петербург : ООО «ПЦ «Синтез», 2018. С. 100.
10. Korolnek T., Hamza I. Like iron in the blood of the people: the requirement for heme trafficking in iron metabolism // Front Pharmacol. 2014. № 5. С. 126. doi: 10.3389/fphar.2014.00126
11. Paul B.T., Manz D.H., Torti F.M., Torti S.V. Mitochondria and Iron: current questions // Expert Rev Hematol. 2017. Vol. 10, N 1. P. 65–79. doi: 10.1080/17474086.2016.1268047
12. Созарукова М.М. Эритроциты как источники и мишени свободных радикалов. В кн.: Источники и мишени свободных радикалов в крови человека / под ред. Ю.А. Владимирова. Москва : ООО «МАКС Пресс», 2017. С. 140–178.

13. Лукина Е.А., Деженкова А.В. Метаболизм железа в норме и при патологии // Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика. 2015. Т. 8, № 4, С. 355–361.
doi: 10.21320/2500-2139-2015-8-4-355-361

14. Иванов С.Д. Железо и рак: роль ионов железа в процессе канцерогенеза и при лучевой терапии опухоленосителей // Успехи современной биологии. 2013. Т. 133, № 5. С. 481–494.

15. Keppner A., Maric D., Correia M., et al. Lessons from the post-genomic era: globin diversity beyond oxygen binding and transport // Redox Biol. 2020. Vol. 37. P. 101687.
doi: 10.1016/j.redox.2020.101687

16. Thévenod F. Iron and its role in cancer defense: a double-edged sword // Met Ions Life Sci. 2018. Vol. 18.
doi: 10.1515/9783110470734-021

17. Кривенцев Ю.А., Бисалиева Р.А., Носков А.И. Гемоглобины человека // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2007. № 6. С. 34–41.

18. Сергунова В.А., Манченко Е.А., Гудкова О.Е. Гемоглобин: модификации, кристаллизация, полимеризация // Общая реаниматология. 2016. Т. 12, № 6. С. 49–63.
doi: 10.15360/1813-9779-2016-6-49-63

19. Pfeifhofer-Obermair C., Tymoszuk P., Petzer V., Weiss G., Nairz M. Iron in the tumor microenvironment-connecting the dots // Front Oncol. 2018. Vol. 8. P. 549. doi: 10.3389/fonc.2018.00549

20. Galaris D., Barbouti A., Pantopoulos K. Iron homeostasis and oxidative stress: an intimate relationship // Biochim Biophys Acta Mol Cell Res. 2019. Vol. 1866, N 12. P. 118535.
doi: 10.1016/j.bbamcr.2019.118535

21. Муравлёва Л.Е., Молотов-Лучанский В.Б., Клюев Д.А., и др. Белки эритроцитов. Миниобзор // Успехи современного естествознания. 2013. № 4. С. 28–31.

22. Fossen Johnson S. Methemoglobinemia: infants at risk // Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care. 2019. Vol. 49, N 3. P. 57–67.
doi: 10.1016/j.cppeds.2019.03.002

23. Нестеров Ю.В., Теплый Д.Д. Морфофизиологические показатели эритроцитов при оксидативном стрессе на разных этапах онтогенеза // Живые и биокосные системы. 2015. № 11. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=24883113

24. Агаджанян Н.А., Макарова И.И. Магнитное поле Земли и организм человека // Экология человека. 2005. № 9. С. 3–9.

25. Бондарь Г.В., Шевченко В.В., Поляков П.И., Рюмшина Т.А. Влияние магнитного поля на показатели крови. В кн.: IX Международная крымская конференция «КОСМОС И БИОСФЕРА», Коктебель, 2011. Режим доступа:
http://www.biophys.ru/archive/crimea2011/abstr-p168.pdf

26. Александров Б.Л., Александров А.Ж. Механизм воздействия на человека магнитного поля земли и Солнца // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 127. С. 138–149. doi: 10.21515/1990-4665-127-006

27. Гришин А.Н., Корнелик С.Е., Рязанцева Н.В., Сычев О.Ф. Биофизика кровотока в сильных магнитных полях: новации и новейшие исследования. В кн.: Инноватика — 2009: сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; 14–15 мая 2009 г.; Томск, Россия. Томск, 2009. С. 20–25.

28. Обридко В.Н., Рагульская М.В., Хабарова О.В., и др. Космические факторы эволюции биосферы: новые направления исследований // Психосоматические и интегративные исследования. 2015. Т. 1, № 1. С. 101.

29. Khabarova O.V., Dimitrova S. On the nature of people's reaction to space weather and meteorological weather changes // Sun and Geosphere. 2009. Vol. 4, N 2. P. 60–71.

30. Рагульская М.В., Хабарова О.В., Обридко В.Н., Дмитриева И.В. Влияние солнечных возмущений на функционирование и синхронизацию человеческого организма // Журнал радиоэлектроники. 2000. № 10. С. 5. Режим доступа:
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15111655

31. Чижевский А.Л. Структурный анализ движущейся крови. Издательство Академии наук СССР, 1959. 474 с.

32. Копыльцов А.В. Двухмерная модель распределения магнитного поля между эритроцитами в узком капилляре // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4. С. 88. Режим доступа:
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32731169.

33. García-Guede Á., Vera O., Ibáñez-de-Caceres I. When oxidative stress meets epigenetics: implications in cancer development // Antioxidants (Basel). 2020. Vol. 9, N 6. P. 468.
doi: 10.3390/antiox9060468

34. Волков Н.М. Эпигенетика: возможности таргетной терапии // Практическая онкология. 2022. Т. 23, № 3. С. 170–174.
doi: 10.31917/2303170

35. Chen H., Xie G.H., Wang W.W., et al. Epigenetically downregulated Semaphorin 3E contributes to gastric cancer // Oncotarget. 2015. Vol. 6, N 24. P. 20449–20465.
doi: 10.18632/oncotarget.3936

36. Xue W., Wang F., Han P., et al. The oncogenic role of LncRNA FAM83C-AS1 in colorectal cancer development by epigenetically inhibits SEMA3F via stabilizing EZH2 // Aging (Albany NY). 2020. Vol. 12, N 20. P. 20396–20412. doi: 10.18632/aging.103835

37. Tomizawa Y., Sekido Y., Kondo M., et al. Inhibition of lung cancer cell growth and induction of apoptosis after reexpression of 3p21.3 candidate tumor suppressor gene SEMA3B // Proc Natl Acad Sci U S A. 2001. Vol. 98, N 24. P. 13954–13959.
doi: 10.1073/pnas.231490898

38. Kundu A., Nam H., Shelar S., et al. PRDM16 suppresses HIF-targeted gene expression in kidney cancer // J Exp Med. 2020. Vol. 217, N 6. P. e20191005. doi: 10.1084/jem.20191005

39. Tischoff I., Markwarth A., Witzigmann H., et al. Allele loss and epigenetic inactivation of 3p21.3 in malignant liver tumors // Int J Cancer. 2005. Vol. 115, N 5. P. 684–689.
doi: 10.1002/ijc.20944

40. Abuetabh Y., Tiwari S., Chiu B., Sergi C. Semaphorins biology and their significance in cancer // Austin J Clin Pathol. 2014. Vol. 1, N 2. P. 1009.

41. Fayyad-Kazan M., Najar M., Fayyad-Kazan H., et al. Identification and evaluation of new immunoregulatory genes in mesenchymal stromal cells of different origins: comparison of normal and inflammatory conditions // Med Sci Monit Basic Res. 2017. Vol. 23. P. 87–96. doi: 10.12659/msmbr.903518

42. Neufeld G., Mumblat Y., Smolkin T., et al. The semaphorins and their receptors as modulators of tumor progression // Drug Resist Updat. 2016. Vol. 29. P. 1–12.
doi: 10.1016/j.drup.2016.08.001

43. Nasarre P., Gemmill R.M., Drabkin H.A. The emerging role of class-3 semaphorins and their neuropilin receptors in oncology // Onco Targets Ther. 2014. Vol. 7. P. 1663–1687. doi: 10.2147/OTT.S37744

44. Neufeld G., Mumblat Y., Smolkin T., et al. The role of the semaphorins in cancer // Cell Adh Migr. 2016. Vol. 10, N 6. P. 652–674. doi: 10.1080/19336918.2016.1197478

45. Jiang H., Tang J., Qiu L., et al. Semaphorin 4D is a potential biomarker in pediatric leukemia and promotes leukemogenesis by activating PI3K/AKT and ERK signaling pathways // Oncol Rep. 2021. Vol. 45, N 4. P. 1. doi: 10.3892/or.2021.7952

46. Delloye-Bourgeois C., Bertin L., Thoinet K., et al. Microenvironment-driven shift of cohesion/detachment balance within tumors induces a switch toward metastasis in neuroblastoma // Cancer Cell. 2017. Vol. 32, N 4. P. 427–443.e8. doi: 10.1016/j.ccell.2017.09.006

47. Torti S.V., Torti F.M. Iron and cancer: 2020 vision // Cancer Res. 2020. Vol. 80, N 24. P. 5435–5448. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-20-2017

48. Wang F., Lv H., Zhao B., et al. Iron and leukemia: new insights for future treatments // J Exp Clin Cancer Res. 2019. Vol. 38, N 1. P. 406. doi: 10.1186/s13046-019-1397-3

49. Fonseca-Nunes A., Jakszyn P., Agudo A. Iron and cancer risk — a systematic review and meta-analysis of the epidemiological evidence // Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. 2014. Vol. 23, N 1. P. 12–31. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-13-0733

REFERENCES

1. Agadzhanyan NA, Chischov AYa, Kim TA. Diseases of civilization. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2003;(4):8–11. (In Russ).

2. Pinaev SK, Chizhov AYa, Pinaeva OG. Critical periods of adaptation to smoke and solar activity at the stages of ontogeny (review). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(11):4–11. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2021-11-4-11

3. Nelson L, Valle J, King G, et al. Estimating the proportion of childhood cancer cases and costs attributable to the environment in California. *Am J Public Health.* 2017;107(5):756–762. doi: 10.2105/AJPH.2017.303690

4. World Health Organization. *IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. List of Classifications. Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1–131*. [cited 2022 Dec 06]. Available from: https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications

5. Pinaev SK, Chizhov AYa, Pinaeva OG. The link of smoke and solar activity with human neoplasms. *Kazan Medical Journal*. 2022;103(4):650–657. (In Russ). doi: 10.17816/KMJ2022-650

6. Pinaev SK, Chizhov AYa, Pinaeva OG. The links between solar activity and smoke with trends in hematological malignancies in Russia. *Radiation and Risk*. 2022;31(3):100–110. (In Russ). doi: 10.21870/0131-3878-2022-31-3-100-110

7. ONCOLOGY.RU [Internet]. Malignant neoplasms in Russia [cited 2023 Jan 17]. Available from: http://www.oncology.ru/service/statistics/malignant_tumors/ (In Russ).

8. Chizhov AYa, Pinaev SK, Savin SZ. Environmentally-related oxidative stress as a carcinogenesis factor. *Technologies of Living Systems*. 2012;9(1):47–53. (In Russ).

9. Abbasova MT, Gadzhiev AM. The influence of low-intensity electromagnetic radiation of the decimeter range on the indicators of iron in serum in rats. In: *VIII International Congress "Weak and superweak fields and radiation in biology and medicine"*. Proceedings of the Congress; 2018 Sep 10–14; Saint Petersburg. Saint Petersburg: Sintez; 2018. P. 100. (In Russ).

10. Korolnek T, Hamza I. Like iron in the blood of the people: the requirement for heme trafficking in iron metabolism. *Front Pharmacol*. 2014;5:126. doi: 10.3389/fphar.2014.00126

11. Paul BT, Manz DH, Torti FM, Torti SV. Mitochondria and Iron: current questions. *Expert Rev Hematol.* 2017;10(1):65–79. doi: 10.1080/17474086.2016.1268047

12. Sozarukova MM. Erythrocytes as sources and targets of free radicals. In: Vladimirova YuA, editor. *Sources and targets of free radicals in human blood*. Moscow: MAKS Press; 2017. P. 140–178. (In Russ).

13. Lukina EA, Dezhenkova AV. Iron metabolism in normal and pathological conditions. *Clinical oncohematology*. 2015;8(4):355–361. (In Russ). doi: 10.21320/2500-2139-2015-8-4-355-361

14. Ivanov SD. Iron and cancer: the role of iron ions in carcinogenesis and radiation therapy of tumor bearings. *Uspekhi sovremennoy biologii*. 2013;133(5):481–494. (In Russ).

15. Keppner A, Maric D, Correia M, et al. Lessons from the post-genomic era: globin diversity beyond oxygen binding and transport. *Redox Biol*. 2020;37:101687. doi: 10.1016/j.redox.2020.101687

16. Thévenod F. Iron and its role in cancer defense: a double-edged sword. *Met Ions Life Sci*. 2018;18. doi: 10.1515/9783110470734-021

17. Kriventsev YuA, Bisalieva RA, Noskov AI. Human hemoglobins. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2007;(6):34–41. (In Russ).

18. Sergunova VA, Manchenko EA, Gudkova OE. Hemoglobin: modification, crystallization, polymerization (review). *General Reanimatology*. 2016;12(6):49–63. doi: 10.15360/1813-9779-2016-6-49-63. (In Russ).

19. Pfeifhofer-Obermair C, Tymoszuk P, Petzer V, et al. Iron in the tumor microenvironment-connecting the dots. *Front Oncol*. 2018;8:549. doi: 10.3389/fonc.2018.00549

20. Galaris D, Barbouti A, Pantopoulos K. Iron homeostasis and oxidative stress: an intimate relationship. *Biochim Biophys Acta Mol Cell Res*. 2019;1866(12):118535. doi: 10.1016/j.bbamcr.2019.118535

21. Muravlyova LE, Molotov-Luchanskiy VB, Klyuev DA, et al. Proteins of red blood cells. Minireview. *Advances in Current Natural Sciences*. 2013;(4):28–31. (In Russ).

22. Fossen Johnson S. Methemoglobinemia: infants at risk. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*. 2019;49(3):57–67. doi: 10.1016/j.cppeds.2019.03.002

23. Nesterov JuV, Teplyj DD. Morfofiziologicheskie pokazateli jeritrocitov pri oksidativnom stresse na raznyh jetapah ontogeneza. *Zhivye i biokosnye sistemy*. 2015;11. (In Russ). Available from: https://elibrary.ru/item.asp?id=24883113

24. Agadzhanyan NA, Makarova II. Earth's magnetic field and the human body. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2005;(9):3–9. (In Russ).

25. Bondar GV, Shevchenko VV, Poljakov PI, Ryumshina TA. Influence of the magnetic field on blood counts. In: *IX International Crimean Conference "Cosmos and biosphere"*; Koktebel', 2011. Available from: http://www.biophys.ru/archive/crimea2011/abstr-p168.pdf (In Russ).

26. Aleksandrov BL, Aleksandrov AZh. The mechanism of human exposure to the magnetic field of the Earth and the Sun. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;127:138–149. (In Russ). doi: 10.21515/1990-4665-127-006

27. Grishin AN, Kornelik SE, Ryazantseva NV, Sychev OF. Biophysics of blood flow in strong magnetic fields: innovations and latest research. In: *Innovations — 2009: collection of materials of the V All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists;* 2009 May 14–15; Tomsk, 2009. P. 20–25. (In Russ).

28. Obridko VN, Ragulskaya MV, Khabarova OV, et al. Cosmophysical factors of evolution of biosphere: new lines of research. *Psychosomatic and Integrative Research*. 2015;1(1):101. (In Russ).

29. Khabarova OV, Dimitrova S. On the nature of people's reaction to space weather and meteorological weather changes. *Sun and Geosphere.* 2009;4(2):60–71.

30. Ragul'skaja MV, Habarova OV, Obridko VN, Dmitrieva IV. Vlijanie solnechnyh vozmushhenij na funkcionirovanie i sinhronizaciju chelovecheskogo organizma. *Journal of Radio Electronics*. 2000;(10):5. (In Russ). Available from: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15111655

31. Chizhevskij AL. *Strukturnyj analiz dvizhushhejsja krovi*. Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR; 1959. 474 p. (In Russ).

32. Kopyltsov AV. Two-dimensional model of the distribution of the magnetic field between erythrocytes in a narrow capillary. *Engineering Journal of Don*. 2017;(4):88. (In Russ). Available from: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32731169

33. García-Guede Á, Vera O, Ibáñez-de-Caceres I. When oxidative stress meets epigenetics: implications in cancer development. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(6):468. doi: 10.3390/antiox9060468

34. Volkov NM. Epigenetics: perspectives of targeted therapy. *Practical Oncology*. 2022;23(3):170–174. (In Russ). doi: 10.31917/2303170

35. Chen H, Xie GH, Wang WW, et al. Epigenetically downregulated Semaphorin 3E contributes to gastric cancer. *Oncotarget*. 2015;6(24):20449–20465. doi: 10.18632/oncotarget.3936

36. Xue W, Wang F, Han P, et al. The oncogenic role of LncRNA FAM83C-AS1 in colorectal cancer development by epigenetically inhibits SEMA3F via stabilizing EZH2. *Aging (Albany NY)*. 2020;12(20):20396–20412. doi: 10.18632/aging.103835

37. Tomizawa Y, Sekido Y, Kondo M, et al. Inhibition of lung cancer cell growth and induction of apoptosis after reexpression of 3p21.3 candidate tumor suppressor gene SEMA3B. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2001;98(24):13954–13959. doi: 10.1073/pnas.231490898

38. Kundu A, Nam H, Shelar S, et al. PRDM16 suppresses HIF-targeted gene expression in kidney cancer. *J Exp Med*. 2020;217(6):e20191005. doi: 10.1084/jem.20191005

39. Tischoff I, Markwarth A, Witzigmann H, et al. Allele loss and epigenetic inactivation of 3p21.3 in malignant liver tumors. *Int J Cancer*. 2005;115(5):684–689. doi: 10.1002/ijc.20944

40. Abuetabh Y, Tiwari S, Chiu B, Sergi C. Semaphorins biology and their significance in cancer. *Austin J Clin Pathol*. 2014;1(2):1009.

41. Fayyad-Kazan M, Najar M, Fayyad-Kazan H, et al. Identification and evaluation of new immunoregulatory genes in mesenchymal stromal cells of different origins: comparison of normal and inflammatory conditions. *Med Sci Monit Basic Res*. 2017;23:87–96. doi: 10.12659/msmbr.903518

42. Neufeld G, Mumblat Y, Smolkin T, et al. The semaphorins and their receptors as modulators of tumor progression. *Drug Resist Updat*. 2016;29:1–12. doi: 10.1016/j.drup.2016.08.001

43. Nasarre P, Gemmill RM, Drabkin HA. The emerging role of class-3 semaphorins and their neuropilin receptors in oncology. *Onco Targets Ther.* 2014;7:1663–1687. doi: 10.2147/OTT.S37744

44. Neufeld G, Mumblat Y, Smolkin T, et al. The role of the semaphorins in cancer. *Cell Adh Migr*. 2016;10(6):652–674. doi: 10.1080/19336918.2016.1197478

45. Jiang H, Tang J, Qiu L, et al. Semaphorin 4D is a potential biomarker in pediatric leukemia and promotes leukemogenesis by activating PI3K/AKT and ERK signaling pathways. *Oncol Rep*. 2021;45(4):1. doi: 10.3892/or.2021.7952

46. Delloye-Bourgeois C, Bertin L, Thoinet K, et al. Microenvironment-driven shift of cohesion/detachment balance within tumors induces a switch toward metastasis in neuroblastoma. *Cancer Cell*. 2017;32(4):427–443.e8. doi: 10.1016/j.ccell.2017.09.006

47. Torti SV, Torti FM. Iron and cancer: 2020 vision. *Cancer Res*. 2020;80(24):5435–5448. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-20-2017

48. Wang F, Lv H, Zhao B, et al. Iron and leukemia: new insights for future treatments. *J Exp Clin Cancer Res*. 2019;38(1):406. doi: 10.1186/s13046-019-1397-3

49. Fonseca-Nunes A, Jakszyn P, Agudo A. Iron and cancer risk — a systematic review and meta-analysis of the epidemiological evidence. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2014;23(1):12–31. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-13-0733

ОБ АВТОРЕ

***Пинаев Сергей Константинович,** к.м.н., доцент;
адрес: Россия, 680000, Хабаровск,
ул. Муравьева-Амурского, 35;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0774-2376;
eLibrary SPIN: 3986-4244;
e-mail: pinaev@mail.ru

AUTHOR'S INFO

***Sergey K. Pinaev,** MD, Cand. Sci. (Med.), associate professor;
address: 35 Murav'eva-Amurskogo street, 680000, Khabarovsk, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0774-2376;
eLibrary SPIN: 3986-4244;
e-mail: pinaev@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco110972

Оценка химической и радиологической безопасности дикорастущих грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области

Т.Н. Унгуряну[1], Д.А. Степовая[1], И.А. Беляевская[2], С.В. Гайдук[3], К.С. Бобыкин[4], Н.Г. Волков[5], Д.Л. Кузнецова[6], Е.Н. Косарева[7], А.С. Глуханова[7]

[1] Северный государственный медицинский университет, Архангельск, Российская Федерация;
[2] Управление Роспотребнадзора по Архангельской области, Архангельск, Российская Федерация;
[3] Балашихинская областная больница, Балашиха, Российская Федерация;
[4] Управление Роспотребнадзора по Вологодской области, Сокол, Российская Федерация;
[5] Центр гигиены и эпидемиологии в Архангельской области и Ненецком автономном округе, Нарьян-Мар, Российская Федерация;
[6] Первая городская клиническая больница им. Е.Е. Волосевич, Архангельск, Российская Федерация;
[7] Станция агрохимической службы «Архангельская», Архангельск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель. Проанализировать уровни загрязнения тяжёлыми металлами и радионуклидами лесных грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области.

Методы. Данные о содержании тяжёлых металлов (кадмий, ртуть, свинец, мышьяк) и радионуклидов (цезий-137 и стронций-90) в ягодах и грибах изучены на основе протоколов ФГБУ Станция агрохимической службы «Архангельская» и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Архангельской области и Ненецком автономном округе» за 2015–2021 гг. Проанализированы 201 проба грибов и 175 проб ягод.

Результаты. Не обнаружено превышения предельно допустимых уровней тяжёлых металлов в 94% исследованных проб грибов и 86% исследованных проб ягод. Все пробы грибов и ягод соответствовали гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов. Медианные концентрации ртути (0,013 мг/кг) и кадмия (0,040 мг/кг) в грибах были выше средних концентраций данных металлов в ягодах в 2,1 (p=0,002) и 1,8 (p <0,001) раза соответственно. На уровне медианной концентрации и 90-го процентиля содержание ртути в трубчатых грибах (0,036 и 0,047 мг/кг соответственно) было в 3,2 раза выше по сравнению с пластинчатыми грибами (p=0,003). В ягодах высоких кустарников на уровне средней концентрации и 90-го процентиля выявлено наибольшее содержание мышьяка (0,067 и 0,24 мг/кг соответственно) и свинца (0,088 и 0,15 мг/кг соответственно) по сравнению с другими видами кустарников, но различия не были статистически значимыми.

Заключение. Грибы и ягоды, произрастающие на территории Архангельской области, содержат тяжёлые металлы и радионуклиды в низких концентрациях. Грибы больше аккумулируют тяжёлые металлы и радионуклиды по сравнению с ягодами.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; радионуклиды; грибы, ягоды; дикоросы.

Как цитировать:
Унгуряну Т.Н., Степовая Д.А., Беляевская И.А., Гайдук С.В., Бобыкин К.С., Волков Н.Г., Кузнецова Д.Л., Косарева Е.Н., Глуханова А.С. Оценка химической и радиологической безопасности дикорастущих грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 17–27. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco110972

Рукопись получена: 19.09.2022 **Рукопись одобрена:** 25.10.2022 **Опубликована online:** 16.01.2023

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco110972

Assessment of the chemical and radiological safety of wild mushrooms and berries growing in the Arkhangelsk region

Tatiana N. Unguryanu[1], Daria A. Stepovaia[1], Ilona A. Belyaevskaya[2], Svetlana V. Gaiduk[3], Konstantin S. Bobykin[4], Nikita G. Volkov[5], Diana L. Kuznetsova[6], Elena N. Kosareva[7], Anna S. Glukhanova[7]

[1] Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russian Federation;
[2] Agency of Consumer Protection, Arkhangelsk Branch, Arkhangelsk, Russian Federation;
[3] Balashikha Central District Hospital, Balashikha, Russian Federation;
[4] Agency of Consumer Protection, Vologda Branch, Sokol, Russian Federation;
[5] Center for Hygiene and Epidemiology in the Arkhangelsk Region and Nenets Autonomous Okrug, Naryan-Mar, Russian Federation;
[6] Volosevich First Municipal Clinical Hospital, Arkhangelsk, Russian Federation;
[7] Agrochemical Service Station «Arkhangelskaya», Arkhangelsk, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: To analyze the levels of contamination with heavy metals and radionuclides of wild mushrooms and berries growing in the Arkhangelsk region.

METHODS: Data on the content of heavy metals (cadmium, mercury, lead, arsenic) and radionuclides (cesium-137 and strontium-90) in berries and mushrooms were studied in accordance with the protocols of the Agrochemical Service Station «Arkhangelskaya» and the Center for Hygiene and Epidemiology in the Arkhangelsk Region and the Nenets Autonomous Okrug during the period of 2015–2021. Total 201 samples of mushrooms and 175 samples of berries were analyzed.

RESULTS: The levels of heavy metals did not exceed the maximum permissible concentrations in 94% of the studied samples of mushrooms and 86% of the studied samples of berries. All samples of mushrooms and berries corresponded the hygienic standards for the content of radionuclides. The mean concentrations of mercury (0.013 mg/kg) and cadmium (0.040 mg/kg) in mushrooms were higher than the average concentrations of these metals in berries by 2.1 (p=0.002) and 1.8 times (p <0.001), respectively. At the level of median concentration and 90th percentile, the content of mercury in tubular mushrooms (0.036 and 0.047 mg/kg, respectively) was 3.2 times higher in comparison to plate mushrooms (p=0.003). The highest content of arsenic (0.067 and 0.24 mg/kg, respectively) and lead (0.088 and 0.15 mg/kg) were found in the berries of the large-sized shrubs at the level of average concentration and the 90th percentile compared to other shrub species, but the differences were not statistically significant.

CONCLUSION: The comparative analysis concluded that although mushrooms and berries from the Arkhangelsk region contain low concentrations of heavy metals and radionuclides, mushrooms tend to accumulate higher concentration of heavy metals and radionuclides in comparison to berries.

Keywords: heavy metals; radionuclides; mushrooms; berries; wild plants.

To cite this article:
Unguryanu TN, Stepovaia DA, Belyaevskaya IA, Gaiduk SV, Bobykin KS, Volkov NG, Kuznetsova DL, Kosareva EN, Glukhanova AS. Assessment of the chemical and radiological safety of wild mushrooms and berries growing in the Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(1):17–27. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco110972

Received: 19.09.2022 **Accepted:** 25.10.2022 **Published online:** 16.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

Для населения, проживающего в суровых условиях Крайнего Севера, фактор питания является одним из важнейших элементов сохранения и укрепления здоровья [1, 2]. Для восполнения недостатка витаминов, минералов и микроэлементов население использует в питании местные дикорастущие грибы и ягоды.

Грибы обладают высокой пищевой ценностью, содержат значительное количество белка и незаменимых аминокислот [3]. Кроме того, они богаты минералами (селеном, магнием, калием, натрием, кальцием, фосфором, медью, марганцем, цинком) и содержат витамины (A, B_1, B_2, C, D, и PP) [4–6]. Широкий спектр биологически активных веществ входит в состав ягод и определяет их полезные свойства. Ягоды содержат минералы и микроэлементы, пищевые волокна, витамины (C, B_1, B_2 и E), органические кислоты, антоцианы, флавоноиды, каротиноиды [7, 8]. Благодаря такому составу грибы и ягоды обладают антиоксидантными, противовоспалительными и иммуномодулирующими свойствами [9, 10].

Несмотря на высокую пользу грибов и ягод, их потребление может являться существенным источником поступления тяжёлых металлов и радионуклидов в организм человека. Неблагоприятное воздействие данных поллютантов на здоровье проявляется в нарушении функционирования органов и систем человека, в частности иммунной системы, повышается риск возникновения пороков развития, нейродегенеративных расстройств, злокачественных новообразований и заболеваний системы кровообращения [11–13].

Цель исследования. Проанализировать уровни загрязнения тяжёлыми металлами и радионуклидами лесных грибов и ягод, произрастающих на территории Архангельской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные о содержании тяжёлых металлов и радионуклидов в грибах и ягодах получены в лабораториях станции агрохимической службы «Архангельская» и Центра гигиены и эпидемиологии в Архангельской области и Ненецком автономном округе. На основе протоколов испытаний за 2015–2021 гг. создана база данных, которая включала наименование ягодной и грибной продукции, дату и место отбора проб, концентрации кадмия, ртути, свинца и мышьяка в миллиграммах на 1 кг сырого веса, а также цезия-137 и стронция-90 в беккерелях на 1 кг сырого веса. Концентрации металлов и радионуклидов в дикорастущих ягодах и грибах сравнивали с предельно допустимыми уровнями (ПДУ) с помощью показателей наглядности в процентах [14].

Всего проанализировали 201 пробу грибов, включая трубчатые (грибы белые, подосиновики, моховики, маслята, подберёзовики) и пластинчатые грибы (грузди, лисички, рыжики, волнушки, опята), и 175 проб ягод, включая произрастающие на высоких кустарниках (ежевика, черноплодная рябина, рябина обыкновенная, облепиха, можжевеловая ягода, шиповник, смородина красная), на низкорослых кустарниках (черника, брусника, клюква) и на травянистых растениях (морошка, земляника). Пробы грибов и ягод были отобраны в лесном массиве вблизи городов Архангельска и Северодвинска, в Красноборском, Пинежском, Приморском, Онежском и Устьянском районах.

Проверку распределения количественных данных проводили с применением статистического критерия Шапиро–Уилка. В связи с тем, что распределение концентраций химических веществ статистически значимо отличалось от нормального, для их описания были использованы медиана, 95% доверительный интервал для медианы (95% ДИ), 90-й процентиль (P_{90}), размах вариации. Для проверки нулевых гипотез о равенстве средних значений между двумя группами применяли U-критерий Манна–Уитни, между тремя группами — критерий Краскела–Уоллиса. Категориальные переменные описаны в виде процентных соотношений. Критический уровень статистической значимости принимали равным 0,05. Для статистического анализа данных использовалось программное обеспечение STATA версия 16.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Концентрации тяжёлых металлов не превышали ПДУ в 94% исследованных проб грибов и 86% исследованных проб ягод. В трёх пробах белых грибов и в одной пробе лисичек обнаружено содержание кадмия выше ПДУ. В 12 пробах ягод (14%) установлено превышение гигиенических нормативов по содержанию мышьяка и кадмия.

Медианные концентрации ртути (0,013 мг/кг) и кадмия (0,040 мг/кг) в грибах были статистически значимо выше средних концентраций данных металлов в ягодах: в 2,1 и 1,8 раза соответственно. Среднее содержание мышьяка (0,034 мг/кг) и свинца (0,083 мг/кг) в грибах было в 1,5 раза выше, чем в ягодах, однако различия не достигали статистической значимости.

Сравнение медианных концентраций тяжёлых металлов и их содержание на уровне P_{90} показало, что в грибах и ягодах концентрация свинца была наибольшей, а ртути — наименьшей. Содержание в грибах металлов на уровне медианной концентрации можно расположить в следующем (убывающем) порядке: Pb > Cd > As > Hg, в ягодах — Pb > As > Cd > Hg.

В пластинчатых и трубчатых грибах медианная концентрация ртути была ниже ПДУ (0,05 мг/кг) на 69 и 34% соответственно, мышьяка (0,5 мг/кг) — на 82 и 77% соответственно, свинца (0,5 мг/кг) — на 74 и 73% соответственно, кадмия (0,1 мг/кг) — на 50 и 51% соответственно.

На уровне медианной концентрации и P_{90} в трубчатых грибах содержание ртути (0,036 и 0,047 мг/кг соответственно), мышьяка (0,080 и 0,36 мг/кг соответственно) и кадмия (0,04 и 0,089 мг/кг соответственно) было выше

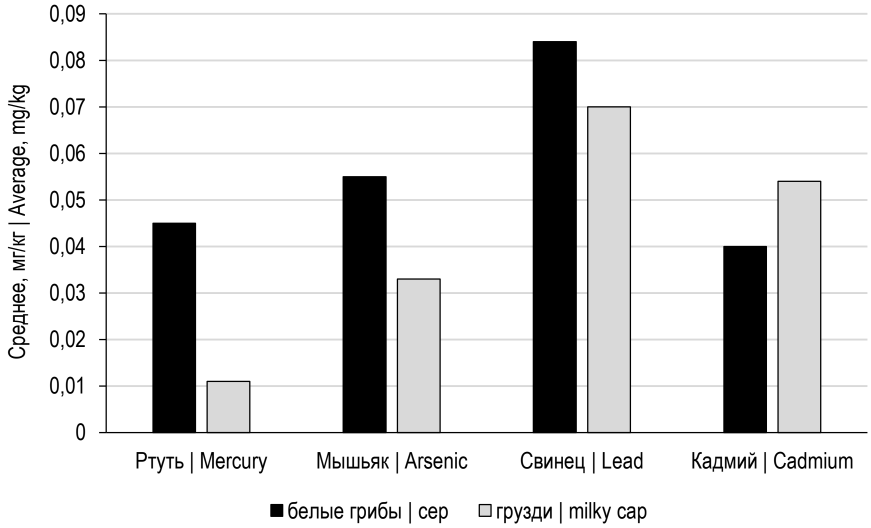


Рис. 1. Концентрации тяжёлых металлов в белых грибах и груздях, произрастающих на территории Архангельской области (данные за 2015–2021 гг.).
Fig. 1. Concentrations of heavy metals in cep and milky cap growing in the Arkhangelsk region (data for 2015–2021).

по сравнению с пластинчатыми грибами. Однако статистически значимые различия (p=0,003) установлены только по содержанию ртути между трубчатыми и пластинчатыми грибами. Концентрация свинца оказалась выше в пластинчатых грибах (0,089 и 0,41 мг/кг соответственно) по сравнению с трубчатыми, но различия не достигли статистической значимости.

Исследование показало, что трубчатые грибы в целом аккумулировали тяжёлые металлы значительно больше, чем пластинчатые грибы, не превышая при этом ПДУ. Установлено, что в белых грибах средние концентрации свинца (0,084 мг/кг), мышьяка (0,055 мг/кг) и ртути (0,045 мг/кг) были выше по сравнению с груздями, которые в большей степени накапливают кадмий (0,054 мг/кг) (рис. 1).

По две пробы ягод из группы высоких и низкорослых кустарников содержали мышьяк в концентрации выше ПДУ, что составило 4,2% от общего числа проб. Три пробы ягод из группы высоких кустарников, одна проба из группы низкорослых кустарников и пять проб из группы травянистых растений содержали кадмий в концентрации выше ПДУ, что составило 9,6% от общего числа проб.

Медианные концентрации ртути в ягодах, произрастающих на травянистых растениях, высоких и низкорослых кустарниках, были ниже ПДУ (0,02 мг/кг) на 67, 64 и 73% соответственно, мышьяка (0,2 мг/кг) — на 86, 45

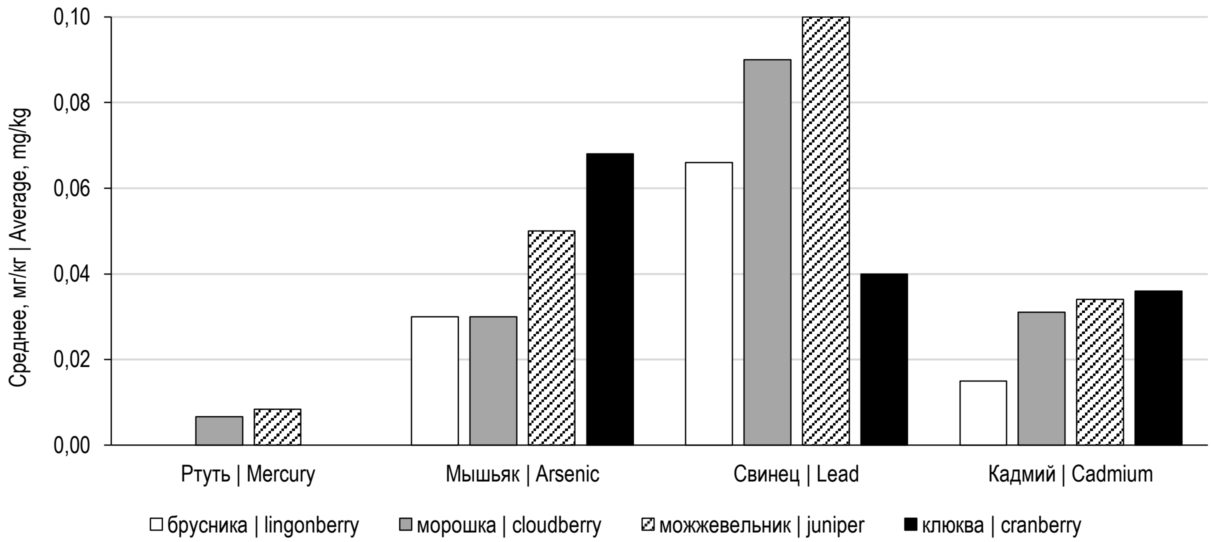


Рис. 2. Концентрации тяжёлых металлов в дикорастущих ягодах брусники, морошки, можжевельника, клюквы, произрастающих на территории Архангельской области (данные за 2015–2021 гг.).
Fig. 2. Concentrations of heavy metals in lingonberries, cloudberries, junipers, cranberries growing in the Arkhangelsk region (data for 2015–2021).

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco110972

и 80% соответственно, свинца (0,4 мг/кг) — на 73, 80 и 87% соответственно, кадмия (0,03 мг/кг) — на 42, 36 и 54% соответственно.

В высоких кустарниках на уровне средней концентрации и P_{90} выявлены более высокие концентрации мышьяка (0,067 и 0,24 мг/кг соответственно) и свинца (0,088 и 0,15 мг/кг соответственно) по сравнению с другими видами кустарников. Однако статистически значимых различий в содержании ртути, мышьяка, свинца и кадмия в ягодах высоких кустарников, низкорослых кустарников и травянистых растений не обнаружено (p >0,05).

Анализ содержания тяжёлых металлов по видам ягод показал, что медианные концентрации свинца и ртути были выше в ягодах можжевельника (0,1 и 0,008 мг/кг соответственно) и морошки (0,09 и 0,006 мг/кг соответственно). Концентрация мышьяка в клюкве (0,068 мг/кг) в 2,3 раза превышала уровень данного металла в бруснике и морошке. Содержание кадмия было практически одинаковым в морошке (0,031 мг/кг), можжевельнике (0,034 мг/кг) и клюкве (0,036 мг/кг) (рис. 2).

Все исследуемые пробы дикоросов по содержанию цезия-137 не превышали гигиенические нормативы. Средний уровень содержания цезия-137 в грибах был в 2,3 раза выше, чем в ягодах (p <0,001). Среднее содержание цезия-137 и стронция-90 в грибах составило 3,65 и 0,35 Бк/кг соответственно, на уровне 90-го процентиля — 11,2 и 0,65 Бк/кг соответственно (табл. 1).

Наибольшая концентрация стронция-90 выявлена в плодах травянистых растений (1,2 Бк/кг). Ягоды, произрастающие на высоких и низких кустарниках, имели

Таблица 1. Концентрации тяжёлых металлов и радионуклидов в грибах и ягодах, произрастающих на территории Архангельской области (данные за 2015–2021 гг.)

Table 1. Concentrations of heavy metals and radionuclides in wild mushrooms and berries growing in the Arkhangelsk region (data for 2015–2021)

Металлы и радионуклиды Metals and radionuclides	Показатели Variables	Все виды грибов All types of mushrooms	Все виды ягод All types of berries	*p*
Hg, мг/кг | mg/kg	Me	0,013	0,006	0,002
	95% ДИ | CI	0,011–0,022	0,004–0,011	
	P_{90}	0,044	0,012	
	Размах | Amplitude	0,046	0,008	
As, мг/кг | mg/kg	Me	0,034	0,031	0,103
	95% ДИ (CI)	0,027–0,082	0,021–0,054	
	P_{90}	0,360	0,220	
	Размах | Amplitude	0,418	0,187	
Pb, мг/кг | mg/kg	Me	0,083	0,065	0,230
	95% ДИ | CI	0,039–0,134	0,036–0,099	
	P_{90}	0,390	0,150	
	Размах | Amplitude	0,415	0,238	
Cd, мг/кг | mg/kg	Me	0,040	0,022	<0,001
	95% ДИ | CI	0,030–0,062	0,015–0,033	
	P_{90}	0,083	0,042	
	Размах | Amplitude	0,919	0,300	
Cs-137, Бк/кг | Bk/kg	Me	3,65	1,6	<0,001
	95% ДИ | CI	2,0570–5,3829	1,2000–2,1954	
	P_{90}	11,2	4,6	
	Размах | Amplitude	40,1	45,08	
Sr-90, Бк/кг | Bk/kg	Me	0,35	0,355	0,742
	95% ДИ | CI	0,2800–0,5957	0,2903–0,3900	
	P_{90}	0,65	0,72	
	Размах | Amplitude	0,6	1,3	

Примечание: Me — медиана; ДИ — доверительный интервал.
Note: Me — mediana; CI — confidential interval.

Таблица 2. Концентрации тяжёлых металлов и радионуклидов в дикорастущих ягодах, произрастающих на территории Архангельской области (данные за 2015–2021 гг.)

Table 2. Concentrations of heavy metals and radionuclides in wild berries growing in the Arkhangelsk region (data for 2015–2021)

Металлы и радионуклиды Metals and radionuclides	Показатели Variables	Высокие кустарники Tall shrubs	Низкорослые кустарники Undersized shrubs	Травянистые растения Herbaceous plants	*p*
Hg, мг/кг | mg/kg	Me	0,005	0,005	0,007	0,705
	95% ДИ | CI	0,004–0,013	0,004–0,007	0,005–0,008	
	P_{90}	0,012	0,007	0,008	
	Размах | Amplitude	0,008	0,003	0,002	
As, мг/кг | mg/kg	Me	0,067	0,033	0,030	0,131
	95% ДИ | CI	0,018–0,226	0,016–0,073	0,008–0,051	
	P_{90}	0,24	0,22	0,057	
	Размах | Amplitude	0,233	0,215	0,053	
Pb, мг/кг | mg/kg	Me	0,088	0,038	0,079	0,313
	95% ДИ | CI	0,033–0,140	0,014–0,109	0,028–0,233	
	P_{90}	0,15	0,15	0,25	
	Размах | Amplitude	0,137	0,138	0,232	
Cd, мг/кг | mg/kg	Me	0,030	0,014	0,030	0,059
	95% ДИ | CI	0,011–0,041	0,010–0,026	0,015–0,081	
	P_{90}	0,041	0,036	0,178	
	Размах | Amplitude	0,031	0,026	0,297	
Cs-137, Бк/кг | Bk/kg	Me	0,66	2,5	43,7	<0,001
	95% ДИ | CI	0,4174–1,2000	2,0004–3,9555	42,1–45,3	
	P_{90}	1,21	4,6	45,3	
	Размах | Amplitude	1,38	3,7	3,2	
Sr-90, Бк/кг | Bk/kg	Me	0,32	0,355	1,2	0,075
	95% ДИ | CI	0,2469–0,4431	0,2567–0,3933	0,9–1,5	
	P_{90}	0,99	0,65	0,6	
	Размах | Amplitude	0,99	0,65	0,6	

Примечание: Me — медиана; ДИ — доверительный интервал.
Note: Me — mediana; CI — confidential interval.

равные концентрации стронция-90 на уровне медианной концентрации и P_{90} (по 0,3 и 0,6 Бк/кг соответственно). На уровне средней концентрации и P_{90} наибольшее содержание цезия-137 установлено в ягодах травянистых растений (43,7 и 45,3 Бк/кг соответственно), наименьшее — в ягодах высоких кустарников (0,66 и 1,21 Бк/кг соответственно) (табл. 2).

Анализ концентраций радионуклидов по видам ягод установил, что наибольшее содержание цезия-137 и стронция-90 выявлено в морошке (43,7 и 1,2 Бк/кг соответственно). Наименьшее содержание цезия-137 установлено в шиповнике и рябине (0,8 и 0,48 Бк/кг соответственно), стронция-90 — в клюкве и чернике (0,26 и 0,23 Бк/кг соответственно).

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании изучены уровни загрязнения дикорастущих грибов и ягод тяжёлыми металлами и радионуклидами. Содержание тяжёлых металлов на уровне, превышающем гигиенические нормативы, обнаружено в 5% исследованных проб грибов и в 14% — ягод. Среднее содержание тяжёлых металлов и радионуклидов в грибах было выше, чем в ягодах.

На содержание тяжёлых металлов в дикорастущих грибах и ягодах оказывают влияние такие факторы, как видовая специфика, физиологическая значимость элементов для растений и удалённость от источника загрязнения [15]. Исследование, выполненное в Кировской области, показало, что 14,3% проб белых грибов содержали кадмий в концентрации, превышающей ПДУ. Самые высокие концентрации тяжёлых металлов были установлены в трубчатых грибах, что согласуется с результатами нашего исследования [16].

По результатам исследования съедобных дикорастущих грибов, проведённом в Центральной Якутии, содержание свинца, кадмия и ртути превышало гигиенические нормативы в 4,2; 2,5 и 7 раз соответственно [17]. По сравнению с грибами, произрастающими на территории Архангельской области, уровни загрязнения грибов тяжёлыми металлами в Центральной Якутии значительно выше.

Исследование, выполненное в городах Среднего Урала, продемонстрировало влияние удалённости промышленного предприятия на концентрацию тяжёлых металлов в грибах. В грибах, собранных на сильно загрязнённой территории, которая расположена на расстоянии 1–3 км от крупного медеплавильного комбината, обнаружено повышенное содержание кадмия и свинца во всех пробах пластинчатых грибов и в 90% трубчатых грибов [11].

Результаты исследования из Словении показали, что в грибах, собранных поблизости от свинцового завода и тепловой электростанции, выявлено высокое содержание свинца (53,8 мг/кг) и кадмия (117 мг/кг) [18]. Ещё в одном исследовании, также проведённом в Словении, обнаружены высокие концентрации металлов в грибах, собранных поблизости от района, где производится добыча полиметаллической руды. При этом концентрации химических веществ варьировали в зависимости от вида грибов. Самые высокие концентрации свинца и ртути были определены в грибе-зонтике пёстром (7,62 и 9,86 мг/кг соответственно), самые низкие концентрации свинца — в белом грибе (1,54 мг/кг) и ртути — в маслёнке лиственничном (0,53 мг/кг) [19].

В условиях техногенного загрязнения происходит накопление тяжёлых металлов в дикорастущих ягодах, что подтверждается результатами многочисленных исследований. В ягодах, которые произрастают на территории Свердловской области, загрязняемой выбросами крупного предприятия цветной металлургии, установлено высокое содержание кадмия и свинца в шиповнике, бруснике, чернике, малине, землянике с превышением ПДУ в 1,2–11 раз [20]. В этом же исследовании авторы пришли к заключению, что загрязнённая грибная продукция по сравнению с ягодами вносит более значительный вклад в дозовую нагрузку тяжёлыми металлами.

Результаты исследования, проведённого в Кировской области, показали, что свинец наиболее интенсивно аккумулируется в плодах рябины. На загрязнённых территориях содержание свинца в плодах рябины составило от 0,5 до 9,5 мг/кг. Наибольшее количество свинца установлено в плодах шиповника (12,5 мг/кг), произрастающего на территории шламоотвала Кировского завода по обработке цветных металлов. Оказалось, что плоды рябины и шиповника накапливают в 3 раза больше свинца, чем их облиственные побеги, что было характерно только для загрязнённых районов [16, 21].

Анализ содержания тяжёлых металлов в ягодных культурах Амурской области выявил, что наибольшее содержание свинца характерно для голубики (1 мг/кг). Концентрация свинца в голубике превышала ПДУ в 2,2–2,5 раза. Наименьшее количество свинца обнаружено в бруснике (0,028 мг/кг). Содержание свинца в клюкве, смородине и шиповнике находилось в диапазоне 0,028–0,48 мг/кг [22].

При удалении от источника загрязнения происходит снижение концентрации тяжёлых металлов в дикорастущих ягодах. При изучении показателей безопасности дикорастущих ягод Кольского полуострова обнаружено [1], что содержание контаминантов в пробах черники и брусники, собранных на расстоянии более 40 км от медно-никелевого комбината, соответствовало нормативам, а в импактной зоне на расстоянии менее 10 км от комбината содержание металлов было в 2–3 раза выше.

Анализ содержания радионуклидов в дикорастущих грибах, собранных в разных регионах России, выявил наибольшую концентрацию цезия-137 в окрестностях городов Нижнего Новгорода (77,0 Бк/кг) и Дубны (63,7 Бк/кг), а также повышенное накопление в белых грибах стронция-90 (2 Бк/кг) — в Туле [23]. На территории Новгородской области в 2012 году установлено повышение активности цезия-137 в лесных ягодах до 123 Бк/кг, в грибах — до 109 Бк/кг [24].

Сравнительный анализ содержания цезия-137 в грибах на территории Республики Беларусь показал, что наибольшая концентрация радиоактивного цезия выявлена в грибах Могилёвской области (3553 Бк/кг), что превышает норматив на 70%. На территории Гомельской области наибольшее удельное содержание цезия-137 в грибах установлено в Лельчицком районе (1970 Бк/кг) [25, 26]. Наибольшая концентрация радионуклида содержится в ягодах черники (610,5 Бк/кг), наименьшая — в ягодах клюквы (185 Бк/кг). Установлено превышение нормируемых показателей в сухих грибах по цезию-137 в 1,9–9,1 раза.

На содержание тяжёлых металлов и радионуклидов в грибах и ягодах может оказывать влияние вид технологической переработки. Длительное замачивание грибов или их сушка приводят к повышению концентраций тяжёлых металлов и радионуклидов. Если при замачивании грибов в течении 4–8 ч концентрация тяжёлых металлов снижается в 1,2–2,3 раза, то замачивание на протяжении 24 ч и дольше приводит к её повышению до первоначального уровня [27]. По сравнению со свежими грибами при сушке концентрация тяжёлых металлов увеличивается в 2–3 раза. При варке грибов в течение 20 мин происходит снижение концентраций тяжёлых металлов на 30–80%, а цезия-137 — на 20–80% [28, 29].

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco110972

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Грибы и ягоды, произрастающие на территории Архангельской области, содержат тяжёлые металлы и радионуклиды в низких концентрациях. Содержание ртути, свинца и цезия-137 в лесных грибах и ягодах — ниже допустимых значений. Грибы больше аккумулируют тяжёлые металлы и радионуклиды по сравнению с ягодами. По уровню загрязнения тяжёлые металлы располагаются в убывающем порядке: в грибах — Pb > Cd > As > Hg; в ягодах — Pb > As > Cd > Hg. Принимая во внимание широкое употребление в пищу дикорастущих грибов и ягод населением северных территорий, необходимо организовать мониторинг за содержанием тяжёлых металлов в дикоросах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: Т.Н. Унгуряну внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, написание текста, редактирование; Д.А. Степовая, И.А. Беляевская, С.В. Гайдук, К.С. Бобыкин, Н.Г. Волков, Д.Л. Кузнецова работали над получением, анализом и интерпретацией данных, разработали первый вариант статьи; Е.Н. Косарева и А.С. Глуханова принимали участие в формировании базы данных. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE; все авторы внесли значительный вклад в разработку концепции, исследование и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант перед публикацией.

Authors contribution: T.N. Unguryanu made a significant contribution to the concept and design of the study, obtained, analyzed, and interpreted the data, wrote, and edited the text; D.A. Stepovaia, I.A. Belyaevskaya, S.V. Gaiduk, K.S. Bobykin, N.G. Volkov, D.L. Kuznetsova obtained, analyzed, and interpreted the data, prepared the first version of the article; E.N. Kosareva and A.S. Glukhanova took part in the formation of the database. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria; they made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication.

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

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

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

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бражная И.Э., Быкова А.Е., Судак С.Н., Семенов Б.Н. Исследование безопасности и минерального состава дикорастущего сырья Кольского полуострова // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2012. Том 15, № 1. С. 11–14.
2. АМАП. Отчет АМАП — 2015: здоровье человека в Арктике. Санкт-Петербург : Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2018. 176 с.
3. Бакайтис В.И., Басалаева С.Н. Содержание макро- и микроэлементов в дикорастущих грибах Новосибирской области // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 2. С. 73а–76.
4. Kalač P. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms // J Sci Food Agric. 2013. Vol. 93, N 2. P. 209–218. doi: 10.1002/jsfa.5960
5. Valverde M.E., Hernández-Pérez T., Paredes-López O. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life // Int J Microbiol. 2015. Vol. 2015. P. 376387. doi: 10.1155/2015/376387
6. Sharifi-Rad J., Butnariu M., Ezzat S.M., et al. Mushrooms-rich preparations on wound healing: from nutritional to medicinal attributes // Front Pharmacol. 2020. Vol. 11. P. 567518. doi: 10.3389/fphar.2020.567518
7. Акимов М.Ю., Бессонов В.В., Коденцова В.М., и др. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 220–232. doi: 10.24411/0042-8833-2020-10055
8. Zeiner M., Juranović Cindrić I. Harmful elements (Al, Cd, Cr, Ni, and Pb) in wild berries and fruits collected in Croatia // Toxics. 2018. Vol. 6, N 2. P. 338–343. doi: 10.3390/toxics6020031
9. Orywal K., Socha K., Nowakowski P., et al. Health risk assessment of exposure to toxic elements resulting from consumption of dried wild-grown mushrooms available for sale // PLoS One. 2021. Vol. 16, N 6. P. e0252834. doi: 10.1371/journal.pone.0252834
10. Zhang J.J., Li Y., Zhou T., et al. Bioactivities and health benefits of mushrooms mainly from China // Molecules. 2016. Vol. 21, N 7. P. 938. doi: 10.3390/molecules21070938
11. Кацнельсон Б.А., Мажаева Т.В., Привалова Л.И., и др. О значимости накопления свинца и кадмия в съедобных грибах как фактора риска для здоровья населения // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2011. № 1. С. 12–16.
12. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., et al. Heavy metal toxicity and the environment // Exp Suppl. 2012. Vol. 101. P. 133–164. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6
13. Щетинкина Н.А., Величко Л.Г., Мячина О.В. Некоторые проблемы питания в современных экологических условиях // Научно-медицинский вестник центрального Черноземья. 2016. № 63. С. 163–165.
14. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011. Приложение 3, п. 6. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/902320560
15. Ветрова О.А., Кузнецов М.Н., Леоничева Е.В., и др. Накопление тяжелых металлов в органах земляники садовой в условиях техногенного загрязнения // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49, № 5. С. 113–119.
16. Егошина Т.Л., Скопин А.Е., Шулятьева Н.А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов дикорастущими видами ягод и грибов // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. 2004. № 1. С. 128–131.

17. Попова М.Г. Способность дикорастущих съедобных грибов Центральной Якутии аккумулировать тяжелые металлы // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2011. № 4. С. 75–77.

18. Petkovšek S.A., Pokaorny B. Lead and cadmium in mushrooms from the vicinity of two large emission sources in Slovenia // Sci Total Environ. 2013. Vol. 443. P. 944–954. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.007

19. Árvay J., Tomáš J., Hauptvogl M., et al. Human exposure to heavy metals and possible public health risks via consumption of wild edible mushrooms from Slovak Paradise National Park, Slovakia // J Environ Sci Health B. 2015. Vol. 50, N 11. P. 833–843. doi: 10.1080/03601234.2015.1058107

20. Безель В.С., Мухачева С.В., Трубина М.Р., Воробейчик Е.Л. Химическое загрязнение среды: накопление тяжелых металлов дикорастущими ягодами и грибами, оценка риска их потребления населением среднего Урала // Проблемы биогеохимии геохимической экологии. 2012. № 3. С. 39–47.

21. Егошина Т.Л., Шихова Л.Н., Ярославцев А.В. Особенности накопления свинца некоторыми дикорастущими ягодными растениями // Проблемы региональной экологии. 2008. № 4. С. 94–98.

22. Димиденок Ж.А., Смирнова С.А. Количественная оценка содержания тяжелых металлов в ягодных культурах Амурской области // Проблемы региональной экологии. 2020. № 5. С. 17–20.

23. Густова М.В., Каплина С.П., Каманина И.З., и др. Определение микроэлементов и радионуклидов в грибах из разных регионов России // Экология. 2021. № 4. С. 5–10. doi: 10.24412/1728-323X-2021-4-5-10

24. Васильев Р.М. Результаты мониторинга удельной активности стронция и цезия в лесных ягодах и грибах Новгородской области. В кн.: Формирование и развитие новой парадигмы науки в условиях постиндустриального общества: сборник статей Международной научно-практической конференции; 20 декабря 2020 г.; Саратов, Россия. Саратов : Аэтерна, 2020. С. 71–72.

25. Рогачевский А.А. Сравнительный анализ содержания калия-40 и цезия-137 в грибах некоторых регионов Беларуси. В кн.: Сельское хозяйство — проблемы и перспективы : сборник научных трудов. Т. 45. Агрономия / под ред. В.К. Пестиса. Гродно : ГГАУ, 2019. С. 123–128.

26. Сподабаева Е.П., Замбржицкий О.Н. [интернет]. Удельное содержание цезия-137 в цельном молоке и дикорастущих ягодах и грибах, заготовленных в частном секторе на территории Лельчицкого района Гомельской области в период 2000–2011 гг. В кн.: здоровье и окружающая среда : сборник научных трудов. Выпуск 21. Минск, 2012. С. 207–214. Доступ по ссылке: http://med.by/content/ellibsci/RNPCG/rnpcg_2012_21.pdf

27. Бакайтис В.И., Че С.Н. Влияние замачивания на снижение содержания тяжелых металлов в грибах // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4. С.136–138.

28. Ловкис З.В., Почицкая И.М., Рябова К.С., и др. Результаты радиологического мониторинга дикорастущей продукции. В кн.: Наука, питание и здоровье : сборник научных трудов / под ред. З.В. Ловкис. Минск : Беларуская навука, 2020. С. 304–308.

29. Че С.Н., Бакайтис В.И., Цапалова И.Э. Влияние тепловой обработки на физические показатели и содержание тяжелых металлов в макромицетах // Техника и технология пищевых производств. 2015. № 2. С.138–143.

REFERENCES

1. Brazhnaja IJe, Bykova AE, Sudak SN, Semenov BN. Issledovanie bezopasnosti i mineral'nogo sostava dikorastushhego syr'ja Kol'skogo poluostrova. *Vestnik of MSTU*. 2012;15(1):11–14. (In Russ).

2. AMAP. *AMAP Assessment 2015: human health in the Arctic. Arctic monitoring u assessment programme (AMAP)*. Oslo, Norway; 2018. 165 p.

3. Bakajtis VI, Basalaeva SN. The content of macro- and microelements in wild mushrooms Novosibirskaya Oblast. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2009(2):73a–76. (In Russ).

4. Kalač P. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *J Sci Food Agric*. 2013;93(2):209–218. doi: 10.1002/jsfa.5960.

5. Valverde ME, Hernández-Pérez T, Paredes-López O. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *Int J Microbiol*. 2015;2015:376387. doi: 10.1155/2015/376387

6. Sharifi-Rad J, Butnariu M, Ezzat SM, et al. Mushrooms-rich preparations on wound healing: from nutritional to medicinal attributes. *Front Pharmacol*. 2020;11:567518. doi: 10.3389/fphar.2020.567518

7. Akimov MYu, Bessonov VV, Kodentsova VM, et al. Biological value of fruits and berries of Russian production. *Problems of Nutrition*. 2020;89(4):220–232. (In Russ). doi: 10.24411/0042-8833-2020-10055

8. Zeiner M, Juranović Cindrić I. Harmful elements (Al, Cd, Cr, Ni, and Pb) in wild berries and fruits collected in Croatia. *Toxics*. 2018;6(2):31. doi: 10.3390/toxics6020031

9. Orywal K, Socha K, Nowakowski P, et al. Health risk assessment of exposure to toxic elements resulting from consumption of dried wild-grown mushrooms available for sale. *PLoS One*. 2021;16(6):e0252834. doi: 10.1371/journal.pone.0252834

10. Zhang JJ, Li Y, Zhou T, et al. Bioactivities and health benefits of mushrooms mainly from China. *Molecules*. 2016;21(7):938. doi: 10.3390/molecules21070938

11. Katsnelson BA, Mazhayeva TV, Privalova LI. The significance of the lead and cadmium accumulation in wild-growing edible mushrooms as a population health risk factor. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2011;(1):12–16. (In Russ).

12. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, et al. Heavy metal toxicity and the environment. *Exp Suppl*. 2012;101:133–164. doi: 10.1007/978-3-7643-8340-4_6

13. Shchetinkina NA, Velichko LG, Myachina OV. Some problems of food in modern ecological conditions. *Medical Scientific Bulletin of Central Chernozemye*. 2016;(63):163–165. (In Russ).

14. *Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti pishhevoj produkcii» TP TC 021/2011. Prilozhenie 3, p. 6*. Available from: https://docs.cntd.ru/document/902320560 (In Russ).

15. Vetrova OA, Kuznetsov MN, Leonicheva EV, et al. Accumulation of heavy metals in the strawberry plants grown in conditions of anthropogenic pollution. *Agricultural Biology*. 2014;49(5):113–119. (In Russ).

16. Egoshina TL, Skopin AE, Shulatjeva NA. The pecularities of heavy metals accumulation by wild species of berries and mushrooms. *Sovremennye problemy prirodopol'zovanija, ohotovedenija i zverovodstva*. 2004;(1):128–131. (In Russ).

17. Popova MG. Sposobnost' dikorastushchikh s"edobnykh gribov Tsentral'noi Yakutii akkumulirovat' tyazhelye metally. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2011;(4):75–77. (In Russ).

18. Petkovšek SA, Pokaorny B. Lead and cadmium in mushrooms from the vicinity of two large emission sources in Slovenia. *Sci Total Environ*. 2013;443:944–954. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.007

19. Árvay J, Tomáš J, Hauptvogl M, et al. Human exposure to heavy metals and possible public health risks via consumption of wild edible mushrooms from Slovak Paradise National Park, Slovakia. *J Environ Sci Health B*. 2015;50(11):833–843. doi: 10.1080/03601234.2015.1058107

20. Bezel VS, Mukhacheva SV, Trubina MR, Vorobeichik EL. Environmental chemical pollution: accumulation of heavy metals in berries and edible mushrooms, risk assessment by theirs consumption for population of Middle Urals. *Problemy biogeokhimii geokhimicheskoi ekologii*. 2012;(3):39–47. (In Russ).

21. Egoshina TL, Shikhova LN, Yaroslavtsev AV. The peculiarities of lead accumulation by some wild berry plants. *Regional Environmental Issues*. 2008;(4):94–98. (In Russ).

22. Dimidenok ZhA, Smirnova SA. Quantitative estimation of heavy metals content in berry cultures in the Amur Region. *Regional Environmental Issues*. 2020;(5):17–20. (In Russ).

23. Gustova MV, Kaplina SP, Kamanina IZ, et al. Determination of microelements and radionuclides in mushrooms from different regions of Russia. *Ekologia*. 2021;(4):5–10. (In Russ). doi: 10.24412/1728-323X-2021-4-5-10

24. Vasil'ev RM. Rezul'taty monitoringa udel'noj aktivnosti stroncija i cezija v lesnyh jagodah i gribah Novgorodskoj oblasti. In: *Formirovanie i razvitie novoj paradigmy nauki v uslovijah postindustrial'nogo obshhestva: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*; 2020 Dec 20; Saratov, Russia. Saratov: Ajeterna; 2020. P. 71–72. (In Russ).

25. Rogachevskij AA. Sravnitel'nyj analiz soderzhanija kalija-40 i cezija-137 v gribah nekotoryh regionov Belarusi. In: Pestis VK, editor. *Sel'skoe hozjajstvo — problemy i perspektivy: sbornik nauchnyh trudov*. T. 45. Agronomija. Grodno: GGAU; 2019. P. 123–128. (In Russ).

26. Spodabaeva EP, Zambrzhickij ON. [Internet]. Udel'noe soderzhanie cezija-137 v cel'nom moloke i dikorastushhih jagodah i gribah, zagotovlennyh v chastnom sektore na territorii Lel'chickogo rajona Gomel'skoj oblasti v period 2000–2011 gg. In: *Zdorov'e i okruzhajushhaja sreda: sbornik nauchnyh trudov. Vypusk 21*. Minsk; 2012. P. 207–214. Available from: http://med.by/content/ellibsci/RNPCG/rnpcg_2012_21.pdf (In Russ).

27. Bakajtis VI, Che SN. Effect of soaking on heavy metals content in mushrooms. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2012;(4):136–138. (In Russ).

28. Lovkis ZV, Pochickaja IM, Rjabova KS, et al. Rezul'taty radiologicheskogo monitoringa dikorastushhej produkcii. In: Lovkis ZV, editor. *Nauka, pitanie i zdorov'e: sbornik nauchnyh trudov.* Minsk: Belaruskaja navuka; 2020. P. 304–308. (In Russ).

29. Che SN, Bakaytis VI, Tsapalova IE. Influence of heat treatment on macromycete physical characteristics and the content of heavy metals in them. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2015;(2):138–143. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Унгуряну Татьяна Николаевна,** д.м.н.;
адрес: Россия, 163000, Архангельск, пр. Троицкий, 51;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8936-7324;
eLibrary SPIN: 7358-1674;
e-mail: unguryanu_tn@mail.ru

Степовая Дарья Алексеевна;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1512-9838;
eLibrary SPIN: 8759-1012;
e-mail: stepovaia.d.a@gmail.com

Беляевская Илона Александровна;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1685-8170;
eLibrary SPIN: 5255-0141;
e-mail: ilona.aleksandrova.1998@mail.ru

Гайдук Светлана Викторовна;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1165-7967;
eLibrary SPIN: 6634-6981;
e-mail: svetikzaharova5@mail.ru

Бобыкин Константин Сергеевич;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0875-5008;
eLibrary SPIN: 1292-5961;
e-mail: bobikin.kostik@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Tatiana N. Unguryanu,** MD, Dr. Sci. (Med.);
address: 51 Troitsky avenue, 163000, Arkhangelsk, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8936-7324;
eLibrary SPIN: 7358-1674;
E-mail: unguryanu_tn@mail.ru

Daria A. Stepovaia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1512-9838;
eLibrary SPIN: 8759-1012;
e-mail: stepovaia.d.a@gmail.com

Ilona A. Belyaevskaya;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1685-8170;
eLibrary SPIN: 5255-0141;
e-mail: ilona.aleksandrova.1998@mail.ru

Svetlana V. Gaiduk;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1165-7967;
eLibrary SPIN: 6634-6981;
e-mail: svetikzaharova5@mail.ru

Konstantin S. Bobykin;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0875-5008;
eLibrary SPIN: 1292-5961;
e-mail: bobikin.kostik@mail.ru

Волков Никита Геннадьевич;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9202-7400;
e-mail: candysec@yandex.ru

Кузнецова Диана Логиновна;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4579-9357;
e-mail: dianka.kuznetsova.00@inbox.ru

Косарева Елена Николаевна;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5918-2820;
e-mail: kosareff_en@bk.ru

Глуханова Анна Сергеевна;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4763-2377;
e-mail: annagluhanova@yandex.ru

Nikita G. Volkov;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9202-7400;
e-mail: candysec@yandex.ru

Diana L. Kuznetsova;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4579-9357;
e-mail: dianka.kuznetsova.00@inbox.ru

Elena N. Kosareva;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5918-2820;
e-mail: kosareff_en@bk.ru

Anna S. Glukhanova;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4763-2377;
e-mail: annagluhanova@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco105586

Интегральная оценка неспецифических реакций липопероксидации крови у девушек-подростков — представительниц сибирских этносов

М.А. Даренская, Л.В. Рычкова, С.И. Колесников, Н.В. Семенова, Л.И. Колесникова

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

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Интегральные показатели, в частности коэффициент окислительного стресса, являются информативными и могут использоваться для оценки как патологических состояний, так и компенсаторно-приспособительных реакций организма.

Цель. Изучить интегральный коэффициент активности неспецифических реакций липопероксидации крови у девушек-подростков бурятского, эвенкийского и тофаларского этносов в сравнении с представительницами русского населения.

Методы. В исследовании участвовали 128 девушек подросткового возраста (буряты, эвенки, тофалары, русские), проживающих на территории Иркутской области. Обследование осуществляли в экспедиционных условиях, на территориях компактного проживания этносов. Для расчёта интегрального показателя (коэффициента окислительного стресса) методами спектрофотометрии и флюорометрии измеряли отдельные показатели: первичные, вторичные и конечные продукты липопероксидации, компоненты антиоксидантной защиты.

Результаты. Согласно полученным данным, в крови девушек бурятского этноса наблюдали сниженные медианы диеновых конъюгатов (ДК) (p <0,0001), кетодиенов и сопряжённых триенов (КД и СТ) (p=0,0003), α-токоферола (p <0,0001) при повышенных медианах ТБК-активных продуктов (p=0,0074) и активности супероксиддисмутазы (p=0,0008) относительно аналогичных показателей крови девушек русской национальности. У представительниц тофаларского этноса в крови отмечали более высокие значения медиан ДК (p=0,0009) при сниженных значениях медиан КД и СТ (p=0,0044) относительно таковых значений у русских девушек. Различий у девушек эвенкийского этноса с русскими не выявлено. Интегративный анализ состояния неспецифических реакций липопероксидации с помощью коэффициента не показал статистически значимых различий между исследуемыми группами.

Заключение. Проведённое исследование демонстрирует определённые изменения в системе «перекисное окисление липидов–антиоксидантная защита» при отсутствии изменений в суммарном показателе у девушек — представительниц сибирских этносов и проживающих рядом с ними русских девушек, что может быть основой для последующего мониторинга состояния их здоровья.

Ключевые слова: липопероксидация; антиоксиданты; коэффициент окислительного стресса; этнос.

Как цитировать:
Даренская М.А., Рычкова Л.В., Колесников С.И., Семенова Н.В., Колесникова Л.И. Интегральная оценка неспецифических реакций липопероксидации крови у девушек-подростков — представительниц сибирских этносов // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 29–39.
DOI: https://doi.org/10.17816/humeco105586

Рукопись получена: 29.03.2022 **Рукопись одобрена:** 29.11.2022 **Опубликована online:** 18.01.2023

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco105586

Integral assessment of non-specific lipid peroxidation reactions blood in adolescent girls of the Siberian ethnos

Marina A. Darenskaya, Lyubov V. Rychkova, Sergey I. Kolesnikov, Natalya V. Semenova, Lyubov I. Kolesnikova

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

ABSTRACT

BACKGROUND: Integral parameters, in particular, the oxidative stress coefficient are informative and can be used both for evaluation of pathological conditions and compensatory-adaptive reactions of the organism.

AIM: To investigate an integral coefficient the activity of nonspecific reactions of lipid peroxidation in adolescent girls of the Buryat, Evenki and Tofalar ethnic groups, as compared to the non-indigenous ethnic groups, by applying.

METHODS: Total 190 adolescent girls (Buryats, Evenki and Tofalar, and nonindigenous population (for example of Russians)) living in the Irkutsk region were the objects of research. The survey was carried out in expeditionary conditions, in the territories of compact residence of ethnic groups. To calculate the integral coefficient (oxidative stress coefficient), spectrophotometry and fluorometry methods we implemented. The individual indicators: primary, secondary, and final products of lipid peroxidation as well as antioxidant defense components were measured.

RESULTS: According to the obtained data, a lower content of diene conjugates (DC) (p <0.0001), ketodienes and conjugated trienes (KD and CT) (p=0.0003), α-tocopherol (p <0.0001) with elevated levels of TBA-active products (p=0.0074) and superoxide dismutase activity (p=0.0008) in the Buryat ethnic girls group relative to similar parameters of girls in the non-ingenious population was observed. Girls of Tofalar ethnic group had higher values of DC (p=0.0009), with reduced values of KD and CT (p=0.0044) compared to the non-indigenous population. There were no differences among girls of the Evenk ethnic group relative to Russians. An integrative analysis of the state of nonspecific lipid peroxidation reactions using the coefficient showed no significant differences between the studied groups.

CONCLUSION: The conducted study demonstrates certain changes in the “lipid peroxidation–antioxidant defence system”, in the absence of changes in the total indicator among girls representing Siberian ethnic groups and the Russian population living next to them, which can be the basis for subsequent monitoring of their health status.

Keywords: lipid peroxidation; antioxidants; oxidative stress coefficient; ethnos.

To cite this article:
Darenskaya MA, Rychkova LV, Kolesnikov SI, Semenova NV, Kolesnikova LI. Integral assessment of non-specific lipid peroxidation reactions blood in adolescent girls of the Siberian ethnos. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(1):29–39. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco105586

Received: 29.03.2022 **Accepted:** 29.11.2022 **Published online:** 18.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

Территория Восточной Сибири является многонациональным регионом, при этом население большинства областей относится к потомкам пришедших сюда в XVII веке русских, а также последовавших за ними украинцев, белорусов, поляков, литовцев, немцев и т.д. До освоения же данного региона европейскими этносами земли были заселены коренными народностями — бурятами, эвенками, якутами, тофаларами [1, 2]. Иркутская область не является исключением. Коренные сибирские этносы, проживающие на её территории, имеют особый интерес для исследователей, поскольку их генофонд формировался в течение длительного времени в условиях резко континентального климата [3]. И хотя почти 90% населения области составляют русские, коренные этнические группы до сих пор играют важную роль в этническом самоопределении территории, а их культуре и традициям уделяется повышенное внимание [4–6].

Среди этносов Иркутской области самой многочисленной группой (более 80 тыс. человек, 3,3% всего населения) являются буряты. Бурятский этнос как этническая общность начал формироваться после присоединения Бурятии к Российской империи, а получил полную автономность уже в XX веке. Большинство бурят проживают в Усть-Ордынском Бурятском округе, с центром в селе Баяндай [6].

Эвенки, до 1931 года именовавшиеся тунгусами, сегодня составляют около 0,05% населения Иркутской области (на 17.01.2023 — 1272 эвенка). На территорию современной Иркутской области эвенки пришли в начале XII века, активная ассимиляция с русскими произошла в конце XVI века [5]. Проживают на территории Катангского района (крайний Север) с центром в поселке Ербогачен.

Самым малочисленным этносом Иркутской области считаются тофалары. На территории Нижнеудинского района, где они проживают, насчитывается всего 678 представителей народности, что составляет 0,03% населения области (по данным на 17.01.2023). Считается, что тофалары как этнос сформировались в процессе сложных этнических изменений, протекавших в Южной Сибири и Саянах. Они попали под контроль Российской империи в середине XVII века, когда русские казаки пришли на территорию Восточной Сибири [4]. Территория проживания —три посёлка в горной местности (2000 м над уровнем моря), достаточно обособленный район, куда добраться можно только авиацией.

Многовековое проживание этнических групп в привычных для них условиях обитания, безусловно, определило их облик и культурные черты, способствовало развитию специфических морфофункциональных характеристик и особенностей метаболических реакций в целом [7, 8]. В данном случае весомую роль играет приверженность коренных народов традиционному образу жизни и «азиатскому» типу питания с преобладанием в рационе доли жиров и белков, которые считаются мощным профилактическим средством, значительно повышающим устойчивость клеточной мембраны к воздействию неблагоприятных экологических условий среды [7–10]. К числу наиболее значимых особенностей обмена веществ северных народностей следует отнести более низкое содержание в крови общего холестерола, триацилглицеролов и более высокий уровень липопротеинов высокой плотности как одного из важнейших антиатерогенных факторов [8, 11]. Подобные изменения липидного обмена описаны у коренных жителей Эвенкии (эвенов и эвенков), в этнических группах коренного населения Приамурья — нанайцев, ульчей и эвенов, у коренных жителей Якутии — эвенков, эвенов, долганов, юкагиров, якутов, у этнических хантов — жителей Ханты-Мансийского автономного округа [9, 12]. Доказано, что ведущей причиной более стабильного метаболизма липидов у монголоидов Сибири является способность печени к активной эстерификации холестерола, интенсивному синтезу желчных кислот и эффективной транспортировке стеринов в желчь [7, 8, 13]. Считается также, что, в отличие от северных народов, у представителей этнических групп, проживающих в Сибири, сформирован свой морфотип, имеющий специфические генетические и фенотипические особенности [14]. Отмечены более высокие значения липопротеинов высокой плотности в бурятской этнической группе [15], увеличение концентрации общих липидов у эвенков Забайкалья [16]. Выявлено более высокое содержание жирорастворимых витаминов и сниженное — продуктов липопероксидации в эвенкийской этнической группе [17].

Вместе с тем характер метаболических реакций представителей коренных этносов требует к себе повышенного внимания в связи с быстрыми изменениями условий их жизни, питания, усилением метисационных процессов, неблагоприятными показателями здоровья [9, 18].

Изучение формирования реакций универсальных процессов липопероксидации–антиоксидантной защиты (АОЗ) позволяет не только выявить ранее неизвестные стороны развития компенсаторных реакций, но и обосновать способы повышения адаптационных возможностей организма при развитии патологических состояний [16, 19]. При этом интегральные показатели, в частности коэффициент окислительного стресса, разработанный в Научном центре проблем здоровья семьи и репродукции человека, являются более информативными для оценки антиоксидантной недостаточности, поскольку позволяют одновременно оценивать состояние как процессов липопероксидации (иначе — перекисного окисления липидов, ПОЛ), так и системы АОЗ, а также выявлять степень дисбаланса в системе «ПОЛ–АОЗ» в процессе адаптации [20]. Поскольку отмечено общее снижение адаптационных возможностей у женского населения (особенно у коренных народностей), составляющего репродуктивный потенциал нации [21], актуальной представляется оценка этого интегрального коэффициента у девушек-подростков,

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco105586

проживающих на различных территориях и относящихся к различным этносам.

Цель работы. Исследовать интегральный коэффициент активности неспецифических реакций липопероксидации крови у девушек-подростков бурятского, эвенкийского и тофаларского этносов в сравнении с представительницами русского населения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 128 девушек подросткового возраста (13–17 лет, средний возраст — 14,8±1,6 года), проживающих на территории Иркутской области и разделённых согласно этнической принадлежности на 6 групп. Коренные этнические группы составляли: 33 девушки бурятского этноса (средний возраст — 15,5±0,2 года), 19 девушек эвенкийского этноса (средний возраст — 14,7±0,5 года) и 17 девушек тофаларского этноса (средний возраст — 13,9±0,4 года). В качестве сравнения использованы данные девушек-европеоидов из русского населения, проживающих рядом с бурятами (*n*=21, средний возраст — 15,6±0,2 года), эвенками (*n*=20, средний возраст — 15,1±0,4 года), тофаларами (*n*=18, средний возраст — 14,1±0,4 года). Обследование осуществляли в экспедиционных условиях, на территориях компактного проживания коренных народностей Иркутской области (буряты — посёлки Баяндай и Усть-Орда, эвенки — посёлок Ербогачен Катангского района, тофалары — посёлок Алыгджер Нижнеудинского района). Все девушки-подростки осмотрены педиатром, эндокринологом, акушером-гинекологом. Обследование у сексуально-активных девушек-подростков включало комплексный гинекологический осмотр. Всем обследуемым проведено УЗИ щитовидной железы и органов малого таза. По результатам заключения педиатров все подростки на момент обследования не имели острых заболеваний и хронической соматической патологии.

Принадлежность к конкретной этнической группе определяли с учётом ряда факторов: длительность проживания на данной территории (как минимум одно поколение); генеалогический анамнез (дети, имеющие в двух поколениях родителей одной национальности); самоидентификация — и с учётом фенотипических особенностей подростка.

В работе с обследуемыми соблюдены этические принципы, предъявляемые Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (World Medical Association Declaration of Helsinki (2013). Исследование одобрено Комитетом по биомедицинской этике при Научном центре проблем здоровья семьи и репродукции человека (выписка из протокола заседания № 2.3 от 25.12.2010). Информированное согласие получено от всех пациентов в возрасте свыше 15 лет и от родителей пациентов, не достигших 15-летнего возраста, согласно Федеральному закону «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан» (2011).

Для расчёта интегрального показателя (коэффициента окислительного стресса), суммарно оценивающего интенсивность процесса липопероксидации, необходимым является измерение отдельных показателей: диеновых конъюгатов (ДК); кетодиенов и сопряжённых триенов (КД и СТ); ТБК-активных продуктов (ТБК-АП) (ТБК — тиобарбитуровая кислота) супероксиддисмутазы; содержания восстановленного глутатиона (GSH), α-токоферола, ретинола (компоненты системы АОЗ). Данная формула учитывает не только накопление продуктов ПОЛ на различных этапах, но и активность различных звеньев системы АОЗ [22].

Содержание первичных (ДК) и вторичных (КД и СТ) продуктов ПОЛ в плазме крови оценивали по методу И.А. Волчегорского (1989), основанному на интенсивном поглощении конъюгированных диеновых структур гидроперекисей липидов в области D_{232} и D_{278} нм (D — значение оптической плотности) [23]. Уровень ТБК-АП в плазме крови определяли в реакции с ТБК с помощью флуориметрического метода В.Б. Гаврилова с соавт. [24]. Активность супероксиддисмутазы в эритроцитах измеряли методом H.P. Misra, I. Fridovich [25], основанным на её способности тормозить реакцию аутоокисления адреналина при pH=10,2. Содержание GSH в эритроцитах определяли по методике P.J. Hissin, R. Hilf [26], заключающейся в способности GSH специфично реагировать с ортофталевым альдегидом при pH=8,0 с образованием флуоресцентного продукта, который может быть активирован при 350 нм с пиком эмиссии при 420 нм. Концентрации α-токоферола и ретинола в плазме крови определяли по методу Р.Ч. Черняускене и соавт. [27], согласно которому предусматривается удаление веществ, препятствующих определению, путём омыления проб в присутствии больших количеств аскорбиновой кислоты и экстракции неомыляющихся липидов гексаном с последующим флуориметрическим определением содержания α-токоферола и ретинола. Референсные значения для α-токоферола — 7–21 мкмоль/л, ретинола — 0,70–1,71 мкмоль/л [28]. Измерения проводили на спектрофлюорофотометре Shimadzu RF-1501 (Shimadzu, Япония), который имеет два блока: спектрофотометр UV-1650 PC и спектрофлуориметр RF-1501.

Статистическая обработка результатов исследования и оценка вида распределения выполнена с помощью пакета прикладных программ Statistica 8.0 (StatSoft Inc., США) (правообладатель лицензии — Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека). С целью определения близости к нормальному закону распределения количественных признаков использовали визуально-графический метод и критерии согласия Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса и Шапиро–Уилка. Вследствие того, что выборки характеризовались преимущественно распределением, отличным от нормального, оценку различий количественных показателей между изучаемыми группами проводили с помощью непараметрического U-критерия Манна–Уитни, использовали описательные статистики: медиану, 25-й и 75-й процентили.

Выбранный критический уровень значимости с учётом поправки Бонферрони равнялся 0,0083.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно полученным данным, в крови девушек бурятского этноса наблюдались более низкие значения медианы ДК — 0,68 (p <0,0001), КД и СТ — 0,14 (p=0,0003), а медиана ТБК-АП оставалась повышенной — 1,58 (p=0,0074) относительно аналогичных показателей крови девушек русской национальности, проживающих в одном поселке с бурятами (табл. 1).

У девушек эвенкийского этноса статистически значимые различия в отношении продуктов ПОЛ в крови

Таблица 1. Сравнительная характеристика продуктов перекисного окисления липидов в группах девушек-подростков различных этносов, Me [25%; 75%]

Table 1. Comparative characteristics of lipid peroxidation products in adolescent girls of different ethnic groups, Me [25%; 75%]

Группы | Groups	Параметры | Parameters		
	Диеновые конъюгаты, мкмоль/л Diene conjugates, μmol/l	Кетодиены и сопряжённые триены, усл. ед. Ketodienes and conjugated trienes, c.u.	ТБК-активные продукты, мкмоль/л TBA-reactive substances, μmol/l
Бурятский этнос (1) | Buryat ethnic group (1)	0,68 [0,40; 0,86]	0,14 [0,10; 0,22]	1,58 [0,84; 1,83]
Русское население (2) | Russian population (2)	1,86 [1,26; 2,06]	0,40 [0,30; 0,52]	1,03 [0,55; 1,28]
Эвенкийский этнос (3) | Evenk ethnic group (3)	1,04 [0,62; 1,48]	0,40 [0,30; 0,74]	1,19 [0,80; 1,41]
Русское население (4) | Russian population (4)	1,21 [0,88; 1,86]	0,48 [0,31; 0,64]	0,98 [0,61; 1,30]
Тофаларский этнос (5) | Tofalar ethnic group (5)	2,0 [1,62; 2,16]	0,30 [0,22; 0,32]	1,16 [0,93; 1,32]
Русское население (6) | Russian population (6)	0,92 [0,88; 1,48]	0,38 [0,36; 0,48]	1,11 [0,64; 1,51]
p	1–2, 3–5, 5–6	1–2, 1–3, 3–5, 5–6	1–2

Примечание: статистически значимые различия между группами — p <0,0083.
Note: significant differences between groups p <0.0083.

Таблица 2. Сравнительная характеристика компонентов системы АОЗ в группах девушек-подростков различных этносов, Me [25%; 75%]

Table 2. Comparative characteristics of the AOD system components in adolescent girls of different ethnic groups, Me [25%; 75%]

Группы | Groups	Параметры | Parameters			
	Активность супероксиддисмутазы, усл. ед. Superoxide dismutase activity, c.u.	α-токоферол, мкмоль/л α-tocopherol, μmol/l	Ретинол, мкмоль/л Retinol, μmol/l	Восстановленный глутатион, мкмоль/л Reduced glutathione, μmol/l
Бурятский этнос (1) Buryat ethnic group (1)	1,62 [1,56; 1,72]	5,97 [5,48; 6,56]	0,56 [0,53; 0,66]	2,17 [1,79; 2,56]
Русское население (2) Russian population (2)	1,40 [1,25; 1,62]	8,54 [6,45; 10,12]	0,52 [0,46; 0,68]	2,28 [2,03; 2,40]
Эвенкийский этнос (3) Evenk ethnic group (3)	1,75 [1,62; 1,80]	12,30 [8,57; 14,50]	0,72 [0,63; 0,79]	2,33 [1,94; 2,82]
Русское население (4) Russian population (4)	1,81 [1,74; 1,84]	8,45 [0,88; 1,86]	0,66 [0,60; 0,75]	1,79 [1,61; 2,06]
Тофаларский этнос (5) Tofalar ethnic group(5)	1,81 [1,79; 1,85]	11,29 [8,75; 13,18]	0,70 [0,56; 0,87]	2,16 [2,08; 2,21]
Русское население (6) Russian population (6)	1,85 [1,77; 1,86]	8,57 [8,14; 9,27]	0,46 [0,41; 0,69]	2,13 [2,06; 2,38]
p	1–2, 3–5	1–2, 1–3, 1–5, 3–5	—	2–4, 4–6

Примечание: статистически значимые различия между группами — p <0,0083.
Note: significant differences between groups p <0.0083.

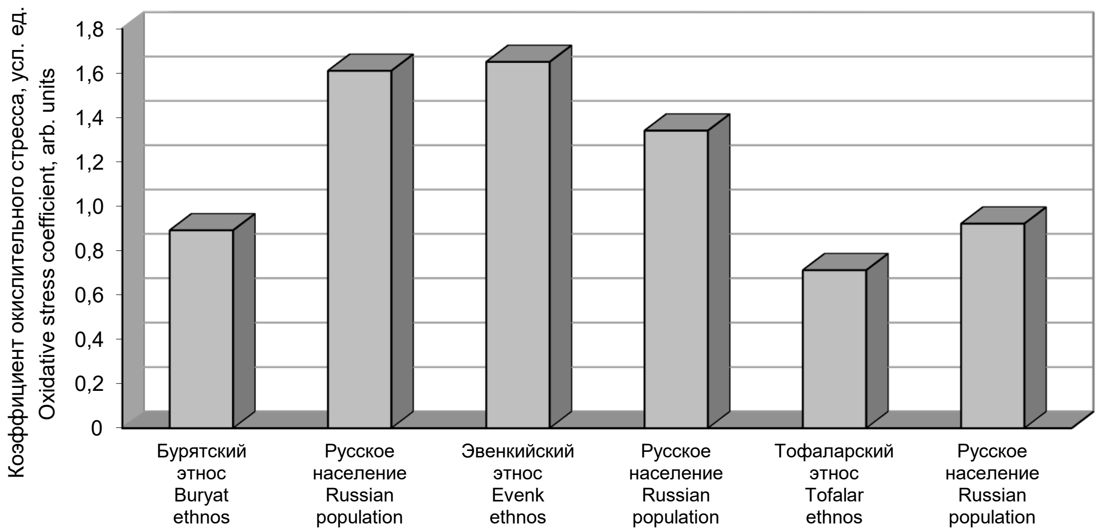


Рис. 1. Значения коэффициента окислительного стресса (Me) у девушек-подростков различных этносов и русского населения.
Fig. 1. Oxidative stress coefficient values (Me) in adolescent girls of different ethnic groups and Russian populations.

в сравнении с девушками русской национальности отсутствовали (p >0,0083). У представительниц тофаларского этноса в крови отмечены более высокие значения медианы ДК — 2,0 (p=0,0009) — при сниженных значениях медианы КД и СТ — 0,3 (p=0,0044) — относительно таковых значений в соответствующей группе русских девушек (см. табл. 1).

Сравнительный анализ содержания продуктов ПОЛ в крови девушек коренных народностей показал, что медиана ДК у девушек тофаларского этноса имела максимальные значения — 2,0 (p=0,0005) относительно девушек эвенкийского этноса (1,04). Группа девушек эвенкийского этноса отличалась по значениям медианы КД и СТ крови, которая в данной группе была более высокой (0,40), чем у девушек бурятского (0,14) этноса (p=0,0007) (см. табл. 1).

Статистически значимых различий в показателях крови в группах девушек русской национальности не обнаружено (p >0,0083).

Полученные данные указывали на наличие значимых различий в компонентах системы АОЗ крови у девушек бурятского этноса: сниженные значения медианы α-токоферола (5,97) (p <0,0001) при повышенной (1,62) супероксиддисмутазной активности (p=0,0008) относительно представительниц русского населения (8,54 и 1,40 соответственно) (табл. 2).

Изменений в спектре антиоксидантов в группах девушек остальных этносов относительно русского населения не обнаружено (p >0,0083). В группах девушек эвенкийского и тофаларского этносов отмечались более высокие значения медианы α-токоферола (12,30; p <0,0001 и 11,29; p <0,0001 соответственно) по отношению к девушкам бурятского этноса (5,97 и 0,56 соответственно) (см. табл. 2).

Что касалось русского населения, то повышенная активность тиол-дисульфидной системы эритроцитов была зарегистрирована у девушек, проживающих рядом с тофаларами и бурятами, что выражалось в более высоких значениях медианы GSH (2,13; p=0,0012 и 2,28; p=0,0014), по сравнению с девушками, проживающими на одной территории с эвенками (1,79).

При расчёте коэффициента окислительного стресса нами не обнаружено статистически значимых различий между группами (p >0,0083) (рис. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые этносы проживают в условиях резко континентального климата с суровой продолжительной зимой. Однако территория проживания тофаларов и эвенков приравнена к районам Крайнего Севера и значительно отличается по ландшафту от территории, заселённой бурятами. Так, тофалары проживают в труднопроходимой местности, в высокогорном районе (Восточные Саяны). Большую её часть занимают таёжные ландшафты, остальная часть территории представляет собой горную тундру с хребтами высотой до 2924 м, ущельями, каньонами и гольцовыми террасами [2]. Территория постоянного проживания эвенков располагается в пределах Среднесибирского плоскогорья с ландшафтом в виде плоской возвышенности и слабоволнистого плато. Отмечается резкий перепад температуры в указанной местности в течение года, с амплитудой колебания до 80 °C [2, 5].

В настоящее время известно, что проблема адаптации человека к различным климатогеографическим факторам (температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха), помимо медико-биологического аспекта, тесно связана с социально-экономическими условиями жизни [18, 29]. С учётом непрерывного характера воздействия на организм человека в условиях сибирского региона многочисленных раздражителей возникает необходимость выделять отдельные популяции, отличающиеся спецификой адаптивных перестроек [30, 31]. Прежде всего имеется в виду коренное (постоянно проживающие в течение многих поколений) и русское население — весьма неоднородные по своим характеристикам группы. Классификация данных объектов вытекает из того, что их адаптивные реакции принципиально различаются, поскольку лица, родившиеся в определённых условиях, имеют в разной степени выраженные признаки адаптированности, закреплённые на генетическом уровне [31, 32].

Доказано, что у северных этносов, проживающих в условиях хронического напряжения регуляции, ведущую роль в энергообеспечении играют реакции липидного обмена [33]. При этом структурно-функциональное состояние биомембран эритроцитов коренных жителей характеризуется снижением величины окисляемости и, соответственно, большей устойчивостью к деструктивным процессам [18].

Нами отмечено, что у девушек бурятского этноса по отношению к русским на фоне сниженных значений первичных и вторичных продуктов ПОЛ имеет место накопление конечных ТБК-АП, что может служить показателем как адаптации, так и дизрегуляции [34]. Известно, что повышение содержания данных метаболитов способно приводить к нарушению проницаемости мембран, структуры и функционального состояния клеток [20, 35]. У девушек тофаларского этноса, которые относятся к северным народностям, происходит активация процессов липопероксидации на первоначальных этапах, без накопления конечных ТБК-АП. В группе девушек эвенкийского этноса значимых различий не зафиксировано.

Интересным также представляется межэтнический анализ данных, который показал максимальные значения первичных продуктов ПОЛ в группе тофаларского этноса и вторичных — у эвенкиек. Важно указать, что данные особенности зарегистрированы на фоне изменённого питания коренных этносов, которое в настоящий момент не имеет выраженных этнических различий с питанием русского населения [9, 36].

Результат адаптивных трансформаций метаболических реакций в ответ на возмущающие факторы внешней среды, в развитии которых задействованы активные формы кислорода, во многом определяется сопряжённой активностью системы АОЗ [32]. Антиоксидантная система крови является важным фактором, характеризующим адаптивные возможности организма. Более высокие уровни витаминов обнаруживались у представительниц тофаларского и эвенкийского этносов в сравнении с девушками бурятского этноса. Выяснено, что жирорастворимые витамины (α-токоферол и ретинол), а также глутатион относятся к сильным антиоксидантам соответственно экзо- и эндогенного происхождения [37]. В то время как витамины накапливаются в значительном количестве в мембранах определённых типов и расходуются относительно медленно, восстановленная форма глутатиона наряду с аскорбатом являются более лабильными антиоксидантами [37, 38]. Необходимо также отметить причастность витаминов к работе всех звеньев регуляции гонадотропной функции гипофиза, что в подростковый период имеет особую значимость [38]. Очевидно, что недостаточность любого витамина, а в особенности сочетанная недостаточность ряда антиоксидантов, может нарушать активность зависящих от них ферментативных процессов и физиологических функций, затруднять течение адаптивных реакций [35]. Отмечено также, что для коренных жителей Севера, придерживающихся традиционного типа питания, характерен особенный биологически сбалансированный для высоких широт вариант реагирования, проявляющийся в частности в увеличении всех фракций витамина Е [17, 39]. Выявлены этнические особенности структурно-функционального состояния клеточных мембран с позиции их обеспеченности жирорастворимыми витаминами (ретинолом и α-токоферолом) [39]. Подобные результаты получены также у аборигенов Канады [40].

Интегральные коэффициенты, оценивающие суммарные изменения большого количества показателей, могут являться более информативными в отличие от отдельных показателей и использоваться для оценки как патологических состояний, так и компенсаторно-приспособительных реакций организма в условиях физиологической нормы [20]. Так, коэффициент окислительного стресса, разработанный в Научном центре проблем здоровья семьи и репродукции человека, может характеризовать интенсивность реакций окислительного стресса в организме человека [22]. Незначительные тенденции к росту значений данного показателя (статистически незначимые) обнаружены у девушек эвенкийского этноса и могут быть объяснены повышенной активностью надпочечникового звена, а также холестеринсодержащих компонентов крови в данной группе, выявленных нами в более ранних исследованиях [32], что может свидетельствовать о большем влиянии стрессовых климатогеографических факторов Катангского района, который относится к территории Крайнего Севера. При этом можно сказать, что условия, в которых проживают малые коренные этносы (тофалары и эвенки), являются адекватными для коренного населения, т.е. соответствующими феногенотипическим свойствам организма, и менее адекватными для русского населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование демонстрирует определённые изменения в системе «перекисное окисление липидов–антиоксидантная защита» при отсутствии изменений в суммарном показателе у девушек-представительниц сибирских этносов и проживающих рядом с ними представительниц русского населения. Описанные особенности метаболических реакций у девушек-подростков коренных сибирских этносов, вероятно, отражают эволюционно сложившиеся механизмы и могут служить основой для последующего мониторинга состояния их здоровья и разработки региональных этноспецифических мероприятий по профилактике заболеваний.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: М.А. Даренская разработала концепцию и дизайн исследования, приняла участие в написании всех разделов статьи, утвердила окончательный её вариант; Л.В. Рычкова участвовала в редактировании текста статьи, формулировании выводов; С.И. Колесников принял участие в редактировании текста статьи, формулировании выводов, утвердил окончательный её вариант; Н.В. Семенова участвовала в сборе первичных данных и анализе полученных результатов; Л.И. Колесникова редактировала текст статьи, участвовала в формулировании выводов, утвердила окончательный вариант.

Authors' contribution. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication). The largest contribution is distributed as follows: M.A. Darenskaya developed the concept and design of the study, took part in writing all sections of the article, approved its final version; L.V. Rychkova participated in editing the text of the article, formulating conclusions; S.I. Kolesnikov took part in editing the text of the article, formulating conclusions, and approved its final version; N.V. Semenova participated in the collection of primary data and the analysis of the results; L.I. Kolesnikova edited the text of the article, participated in the formulation of conclusions, approved the final version.

Финансирование. Публикация осуществлена при поддержке гранта, полученного Научно-исследовательским центром адаптации человека в Арктике, филиалом Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (НИЦ МБП КНЦ РАН) на тему «The contribution of reproductive health and the quality of the Arctic environment to the Wellbeing of the Kola Sami», софинансируемого через сквозные фонды Международного арктического научного комитета (IASC) при участии Рабочих групп IASC: по социальным и гуманитарным вопросам (SHWG) и Международной научной инициативы в Российской Арктике (ISIRA).

Funding sources. The publication was supported by a grant received by the Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic, a Branch of the Federal Research Center "Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (RCMBP KSC RAS) on the subject "The contribution of reproductive health and the quality of the environment in the Arctic to the Wellbeing of the Kola Sami" from the International Arctic Science Committee (IASC) funded by the Social and Human Working Group (SHWG) with the approval of the International Science Initiative in the Russian Arctic (ISIRA).

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://irkipedia.ru/ [интернет]. Коренные народы [дата обращения: 25.03.2022]. Доступ по ссылке: http://irkipedia.ru/content/korennye_narody
2. Рагулина М.В. Традиционное природопользование коренных малочисленных народов Сибири: тенденции и парадоксы развития // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 7. С. 116–128.
3. Денисова Г.А. Структура генофондов этнических групп южной и центральной Сибири // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2009. № 3. С. 78–85.
4. Курдюков В.Н. Общий анализ этносоциальных и экономических проблем тофаларов // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2017. Т. 19. С. 96–107.
5. Курдюков В.Н. Современное состояние охотничьего промысла и его экономическое значение для эвенков Иркутской области // Материалы Международной научно-практической конференции «Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития». Иркутский государственный университет, Географический факультет. Иркутск, 25-29 сентября 2017. С. 182–187.
6. Амоголонова Д.Д. Современная бурятская этносфера: этничность и художественная культура // Мир Большого Алтая. 2018. Т. 4, № 2. С. 289–301. doi: 10.31551/2410-2725-2018-4-2-289-301
7. Агаджанян Н.А., Коновалова Г.М., Ожева Р.Ш. Этнос, здоровье и проблемы адаптации // Новые технологии. 2010. № 3. С. 93–97.
8. Агаджанян Н.А., Макарова И.И. Этнический аспект адаптационной физиологии и заболеваемости населения // Экология человека. 2014. Т. 21, № 3. С. 3–13. doi: https://doi.org/10.17816/humeco17248
9. Манчук В.Т., Надточий Л.А. Состояние здоровья коренных и малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока, особенности формирования патологии. Красноярск : НИИ Медицинских проблем Севера СО РАМН, 2012. 338 с.
10. Чанчаева Е.А. К вопросу об адекватности питания аборигенного населения Сибири // Экология человека. 2010. Т. 17, № 3. С. 31–34.
11. Поликарпов Л.С., Хамнагадаев И.И., Прахин Е.И., и др. Питание и особенности развития атеросклероза у детей и взрослых жителей Севера // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2010. Т. 30, № 6. С. 129–135.
12. Рябова Т.И., Попова Т.В., Сиротин Б.З. Особенности липидного спектра сыворотки крови у коренного и пришлого населения Приамурья // Клиническая лабораторная диагностика. 2012. № 2. С. 25–27.
13. Цуканов В.В., Ноздрачев К.Г., Тонких Ю.Л., и др. Механизм обратного транспорта холестерина и холелитиаз у северных

народностей // Клиническая медицина. 2007. Т. 85, № 2. С. 33–35.
14. Бичкаева Ф.А., Бойко Е.Р., Жилина Л.П., и др. Физиологические особенности липидного, углеводного и белкового обменов у жителей южных районов Архангельской области // Экология человека. 2006. № 3. С. 7–11.
15. Баирова Т.А., Долгих В.В., Колесникова Л.И., Мункоева Д.М. Ген аполипопротеина А1 и его роль в развитии дислипидемии у пациентов разных этнических групп с эссенциальной артериальной гипертензией // Российский кардиологический журнал. 2012. Т. 17, № 6. С. 19–23.
16. Колесникова Л.И., Даренская М.А., Гребенкина Л.А., и др. Проблемы этноса в медицинских исследованиях (обзор литературы) // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2013. № 4. С. 153–159.
17. Колодяжная Т.А., Зайцева О.И., Манчук В.Т., Казакова Г.Н. Молекулярные взаимодействия жирорастворимых витаминов (ретинола и альфа-токоферола) с параметрами функционального состояния эритроцитарных мембран у детей Эвенкии // Якутский медицинский журнал. 2011. № 4. С. 13–15.
18. Надточий Л.А., Смирнова С.В., Бронникова Е.П. Депопуляция коренных и малочисленных народов и проблема сохранения этносов северо-востока России // Экология человека. 2015. Т. 22, № 3. С. 3–11. doi: 10.17816/humeco17087
19. Колесникова Л.И., Даренская М.А., Долгих В.В., и др. Про- и антиоксидантный статус у подростков — тофов и европеоидов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12, № 1-7. С. 1687–1691.
20. Колесникова Л.И., Рычкова Л.В., Колесников С.И., и др. Оценка системы липопероксидации и антиоксидантной защиты у мальчиков-подростков с экзогенно-конституциональным ожирением с использованием коэффициента окислительного стресса // Вопросы питания. 2018. Т. 87, № 1. С. 28–34. doi: 10.24411/0042-88332018-10003
21. Толоконская Н.П., Штарк М.Б., Рязанцев С.В., и др. Социально-демографический потенциал России: состояние и перспективы. Москва : Издательство «Экон-Информ», 2019. 361 с.
22. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2011617323. Заявка № 2011615688 от 28.07.2011. Колесникова Л.И., Гребенкина Л.А., Олифиренко В.П., и др. Программа для расчета коэффициента окислительного стресса на основе параметров системы перекисного окисления липидов–антиоксидантной защиты в крови.
23. Волчегорский И.А., Налимов А.Г., Яровинский Б.Г., Лифшиц Р.И. Сопоставление различных подходов к определению продуктов перекисного окисления липидов в гептан-изопропанольных экстрактах крови // Вопросы медицинской химии. 1989. Т. 35, № 1. С. 127–131.
24. Гаврилов В.Б., Гаврилова А.Р., Мажуль Л.М. Анализ методов определения продуктов перекисного окисления липидов в сыворотке крови по тесту с тиобарбитуровой кислотой // Вопросы медицинской химии. 1987. Т. 33, № 1. С. 118–122.
25. Misra H.P., Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase // J Biol Chem. 1972. Vol. 247, N 10. P. 3170–3175.
26. Hissin P.J., Hilf R. Fluorometric method for determination of oxidized and reduced glutathione in tissues // Anal Biochem. 1976. Vol. 74, N 1. P. 214–226.
27. Черняускене Р.Ч., Варшкявичене З.З., Грибаускас П.С. Одновременное определение концентраций витаминов Е и А в сыворотке крови // Лабораторное дело. 1984. № 6. С. 362–365.
28. Ребров В.Г., Громова О.А. Витамины и микроэлементы. Москва : «АЛЕВ-В», 2003. 648 с.
29. Павленко В.И., Петров А., Куценко С.Ю., Деттер Г.Ф. Коренные малочисленные народы российской Арктики (проблемы и перспективы развития) // Экология человека. 2019. Т. 26, № 1. С. 26–33. doi: 10.33396/1728-0869-2019-1-26-33
30. Колесникова Л.И., Баирова Т.А., Первушина О.А. Гены ферментов антиоксидантной системы // Вестник Российской академии медицинских наук. 2013. Т. 68, № 12. С. 83–88. doi: 10.15690/vramn.v68i12.865
31. Ershova O.A., Bairova T.A., Kolesnikov S.I., et al. Oxidative stress and catalase gene // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2016. Т. 161, № 3. С. 400–403. doi: 10.1007/s10517-016-3424-0
32. Даренская М.А. Особенности метаболических реакций у коренного и пришлого населения Севера и Сибири // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2014. № 2. С. 97–103.
33. Сивцева Т.М., Климова Т.М., Аммосова Е.П., и др. Метаболизм липидов и метаболические нарушения в якутской популяции: обзор литературы // Экология человека. 2021. Т. 28, № 4. С. 4–14. doi: 10.33396/1728-0869-2021-4-4-14
34. Sies H., Jones D.P. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents // Nat Rev Mol Cell Biol. 2020. Vol. 21, N 7. P. 363–383. doi: 10.1038/s41580-020-0230-3
35. Колесникова Л.И., Даренская М.А., Гребенкина Л.А., и др. Анализ антиоксидантного статуса и фактического питания студенток // Вопросы питания. 2015. Т. 84, № 4. С. 66–73.
36. Панин Л.Е. Гомеостаз и проблемы приполярной медицины (методологические аспекты адаптации) // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2010. Т. 30, № 3. С. 6–11.
37. Magdalena A., Pop P.A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: a review // Eur J Med Chem. 2015. Vol. 97. P. 55–74. doi: 10.1016/j.ejmech.2015.04.040
38. Mohd Mutalip S.S, Ab-Rahim S., Rajikin M.H. Vitamin E as an antioxidant in female reproductive health // Antioxidants (Basel). 2018. Vol. 7, N 2. P. 22. doi: 10.3390/antiox7020022
39. Чащин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., и др. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. Т. 21, № 1. С. 3–12. doi: 10.17816/humeco17269
40. Werk C.M., Cui X., Tou S. Health of young aboriginal children living off reserve // Pimatisiwin: a Journal of Aboriginal and Indigenous Community Health. 2013. Vol. 11, N 2. P. 197–213.

REFERENCES

1. http://irkipedia.ru/ [Internet]. Korennye narody [cited: 2022 March 25]. Available from: http://irkipedia.ru/content/korennye_narody
2. Ragulina MV. Traditional land use of indigenous peoples of siberia: trends and paradoxes of the development. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*. 2014;7:116–128. (In Russ).
3. Denisova GA. The gene pool structures of ethnic groups from South and Central Siberia. *The Bulletin of the North-East Scientific Center*. 2009;(3):78–85. (In Russ).
4. Kurdjukov VN. General analysis and ethnosocial economic problems Tofalars. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*. 2017;19:96–107. (In Russ).
5. Kurdyukov VN. Sovremennoe sostoyanie okhotnich'ego promysla i ego ekonomicheskoe znachenie dlya evenkov Irkutskoi oblasti. In: *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Bezopasnost' prirodopol'zovaniya v usloviyakh ustoichivogo razvitiya"*. Irkutskii gosudarstvennyi universitet, Geograficheskii fakul'tet; 2017. P. 182–187. (In Russ).
6. Amogolonova DD. Sovremennaya buryatskaya etnosfera: etnichnost' i khudozhestvennaya kul'tura. *The World of the Great Altai*. 2018;4(2):289–301. (In Russ). doi: 10.31551/2410-2725-2018-4-2-289-301
7. Agadzhanyan NA, Konovalova GM, Ozheva RSh. Etnos, zdorov'e i problemy adaptatsii. *New technologies*. 2010;(3):93–97. (In Russ).
8. Agadzhanyan NA, Makarova II. Ethnic aspect of adaptative physiology and population morbidity. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(3):3–13. (In Russ). doi: https://doi.org/10.17816/humeco17248
9. Manchuk VT, Nadtochii LA. *Sostoyanie zdorov'ya korennykh i malochislennykh narodov Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka, osobennosti formirovaniya patologii*. Krasnoyarsk: NII Meditsinskikh problem Severa SO RAMN; 2012. 338 p. (In Russ).
10. Tchantchaeva EA. To the issue of the adequacy of nutrition of Siberian aboriginal population literature review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2010;17(3):31–34. (In Russ).
11. Polikarpov LS, Khamnagadaev II, Prakhin EI, et al. Nutrition and the peculiarities of atherosclerosis development in children and adults of the North. *The Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2010;30(6):129–135. (In Russ).
12. Ryabova TI, Popova TV, Sirotin BZ. The characteristics of lipid spectrum of blood serum in native and alien population in Amur region. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 2012;(2):25–27. (In Russ).
13. Tsukanov VV, Nozdrachev KG, Tonkikh YuL, et al. The mechanism of reverse cholesterol transport and cholelithiasis in northern nationalities. *Clinical medicine (Russian Journal).* 2007;85(2):33–35. (In Russ).
14. Bichkaeva FA, Bojko ER, Zhilina LP, et al. Physiological features of metabolic activity of lipids, carbohydrates and proteins in inhabitants of southern districts of Archangelsk region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2006;(3):7–11. (In Russ).
15. Bairova TA, Dolgikh VV, Kolesnikova LI, Munkoeva DM. Apolipoprotein A1 gene and its role in dyslipidemia development across ethnic groups of patients with essential arterial hypertension. *Russian Journal of Cardiology*. 2012;17(6):19–23. (In Russ).
16. Kolesnikova LI, Darenskaya MA, Grebenkina LA, et al. The ethnos in medical researches (literature review). *Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal)*. 2013:(4):153–159. (In Russ).
17. Kolodyazhnaya TA, Zaitseva OI, Manchuk VT, Kazakova GN. Molekulyarnye vzaimodeistviya zhirorastvorimykh vitaminov (retinola i al'fa-tokoferola) s parametrami funktsional'nogo sostoyaniya eritrotsitarnykh membran u detei Evenkii. *Yakut medical journal*. 2011;4:13–15. (In Russ).
18. Nadtochiy LA, Smirnova SV, Bronnikova EP. The depopulation of indigenous and small-numbered peoples and problem of preserving of ethnic groups of the North-East of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2015;22(3):3–11. (In Russ). doi: 10.17816/humeco17087
19. Kolesnikova LI, Darenskaya MA, Dolgikh VV, et al. Pro- and antioxidatic status at teenagers — tofs and europoids. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010;12(1-7):1687–1691. (In Russ).
20. Kolesnikova LI, Rychkova LV, Kolesnikov SI, et al. The evaluation of the lipid peroxidation system and antioxidant defense in adolescent boys with exogenously constitutive obesity with using the coefficient of oxidative stress. *Problems of Nutrition*. 2018;87(1):28–34. (In Russ). doi: 10.24411/0042-88332018-10003
21. Tolokonskaya NP, Shtark MB, Ryazantsev CV, et al. *Sotsial'no-demograficheskii potentsial Rossii: sostoyanie i perspektivy*. Moscow: Izdatel'stvo «Ekon-Inform»; 2019. 361 p. (In Russ).
22. Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2011617323. Zayavka No 2011615688 ot 28.07.2011. Kolesnikova LI, Grebenkina LA, Olifirenko VP, et al. *Programma dlya rascheta koeffitsienta okislitel'nogo stressa na osnove parametrov sistemy perekisnogo okisleniya lipidov–antioksidantnoi zashchity v krovi.* (In Russ).
23. Volchegorskii IA, Nalimov AG, Yarovinskii BG, Lifshits RI. Sopostavlenie razlichnykh podkhodov k opredeleniyu produktov perekisnogo okisleniya lipidov v geptan-izopropanol'nykh ekstraktakh krovi. *Problems of Medical Chemistry*. 1989;35(1):127–131. (In Russ).
24. Gavrilov VB, Gavrilova AR, Mazhul' LM. Analiz metodov opredeleniya produktov perekisnogo okisleniya lipidov v syvorotke krovi po testu s tiobarbiturovoi kislotoi. *Problems of Medical Chemistry*. 1987;33(1):118–122. (In Russ).
25. Misra HP, Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase. *J Biol Chem*. 1972;247(10):3170–3175.
26. Hissin PJ, Hilf R. Fluorometric method for determination of oxidized and reduced glutathione in tissues. *Anal Biochem*. 1976;74(1):214–226.
27. Chernyauskene RCh, Varshkyavichene ZZ, Gribauskas PS. Odnovremennoe opredelenie kontsentratsii vitaminov E i A v syvorotke krovi. *Laboratornoe delo*. 1984;(6):362–365. (In Russ).
28. Rebrov VG, Gromova OA. *Vitaminy i mikrojelementy*. Moscow: "ALEV-V"; 2003. 648 p. (In Russ).
29. Pavlenko VI, Petrov A, Kutsenko SYu, Detter GF. Indigenous peoples of the Russian arctic (problems and development pros-

pects). *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2019;26(1):26–33. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2019-1-26-33

30. Kolesnikova LI, Bairova TA, Pervushina OA. Genes of antioxidant enzymes. *Annals of the Russian academy of medical sciences*. 2013;68(12):83–88. (In Russ). doi: 10.15690/vramn.v68i12.865

31. Ershova OA, Bairova TA, Kolesnikov SI, et al. Oxidative stress and catalase gene. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2016;161(3):400–403. doi: 10.1007/s10517-016-3424-0

32. Darenskaya MA. Peculiarities of metabolic reactions in indigenous and migrant populations of the North and Siberia. *Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal)*. 2014;(2):97–103. (In Russ).

33. Sivtseva TM, Klimova TM, Ammosova EP, et al. Lipid metabolism and metabolic disorders in the Yakut population: a literature review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(4):4–14. (In Russ). doi: 10.33396/1728-0869-2021-4-4-14

34. Sies H, Jones DP. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2020;21(7):363–383. doi: 10.1038/s41580-020-0230-3

35. Kolesnikova LI, Darenskaya MA, Grebenkina LA, et al. Analysis of antioxidant status and actual diet of students. *Problems of Nutrition*. 2015;84(4):66–73. (In Russ).

36. Panin LE. Homeostasis and problems of circumpolar health (methodological aspects of adaptation. *The Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2010;30(3):6–11. (In Russ).

37. Magdalena A, Pop PA. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: a review. *Eur J Med Chem*. 2015;97:55–74. doi: 10.1016/j.ejmech.2015.04.040

38. Mohd Mutalip SS, Ab-Rahim S, Rajikin MH. Vitamin E as an Antioxidant in Female Reproductive Health. *Antioxidants (Basel)*. 2018;7(2):22. doi: 10.3390/antiox7020022

39. Chashchin VP, Gudkov AB, Popova ON, et al. Description of main health deterioration risk factors for population living on territories of active natural management in the Arctic. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(1):3–12. (In Russ). doi: 10.17816/humeco17269

40. Werk CM, Cui X, Tou S. Health of young aboriginal children living off reserve. *Pimatisiwin: a Journal of Aboriginal and Indigenous Community Health*. 2013;11(2):197–213.

ОБ АВТОРАХ

Даренская Марина Александровна,
д.б.н., ведущий научный сотрудник;
адрес: Россия, 664003, Иркутск, ул. Тимирязева, 16;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3255-2013;
eLibrary SPIN: 3327-4213;
e-mail: marina_darenskaya@inbox.ru

Рычкова Любовь Владимировна, д.м.н.,
член-корреспондент РАН, профессор РАН;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2910-0737;
eLibrary SPIN: 1369-6575;
e-mail: rychkova.nc@gmail.com

Колесников Сергей Иванович, д.м.н., академик РАН,
профессор, главный научный сотрудник;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2124-6328;
eLibrary SPIN: 1752-6695;
e-mail: sikolesnikov2012@gmail.com

Семенова Наталья Викторовна, д.б.н.,
ведущий научный сотрудник;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6512-1335;
eLibrary SPIN: 6606-0160;
e-mail: natkor_84@mail.ru

Колесникова Любовь Ильинична, д.м.н., академик РАН,
профессор, научный руководитель;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3354-2992;
eLibrary SPIN: 1584-0281;
e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

AUTHORS' INFO

Marina A. Darenskaya, Dr. Sci. (Biol.), leader research associate;
address: 16 Timirjazeva street, 664003, Irkutsk, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3255-2013;
eLibrary SPIN: 3327-4213;
e-mail: marina_darenskaya@inbox.ru

Lyubov V. Rychkova, MD, Dr. Sci. (Med.), associate member
of the Russian Academy of Sciences, professor of the Russian
Academy of Sciences;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2910-0737;
eLibrary SPIN: 1369-6575;
e-mail: rychkova.nc@gmail.com

Sergey I. Kolesnikov, MD, Dr. Sci. (Med.), academician
of the Russian Academy of Sciences, professor,
chief research associate;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2124-6328;
eLibrary SPIN: 1752-6695;
e-mail: sikolesnikov2012@gmail.com

Natalya V. Semenova, Dr. Sci. (Biol.), leader research associate;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6512-1335;
eLibrary SPIN: 6606-0160;
e-mail: natkor_84@mail.ru

Lyubov I. Kolesnikova, MD, Dr. Sci. (Med.), academician
of the Russian Academy of Sciences, professor, scientific director;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3354-2992;
eLibrary SPIN: 1584-0281;
e-mail: iphr@sbamsr.irk.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco111891

Возрастные особенности организма жителей Крайнего Севера на основе построения матриц функционального состояния

И.В. Аверьянова, Е.А. Луговая, С.И. Вдовенко, Ю.В. Барбарук

Научно-исследовательский центр «Арктика», Магадан, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Крайний Север России имеет ярко выраженные особенности природного и социального характера, негативно воздействующие на функциональное состояние организма человека.

Цель. Оценка медико-физиологических и социальных факторов, определяющих уровень функционального состояния организма жителей-северян различных возрастных групп.

Методы. В исследованиях приняли участие 156 юношей (от 17 до 21 года, средний возраст — 18,5±0,6 года), 56 мужчин трудоспособного возраста (от 34 до 45 лет, средний возраст — 37,4±0,5 года) и 45 мужчин пожилого возраста (от 60 до 77 лет, средний возраст — 65,9±1,1 года) из числа европеоидов, проживающих на территории Магаданской области. Проводили оценку соматометрических характеристик организма, функции сердечно-сосудистой и дыхательной систем, инсулинорезистентности, биохимических показателей крови, концентрации витамина D, микроэлементного профиля, основного обмена, а также анализировали аспекты табакокурения и двигательной активности обследованных лиц.

Результаты. Вектор изменений в работе функциональных систем организма характеризуется возрастанием степени их напряжения с увеличением возраста. В ряду от юношей к мужчинам пожилого возраста повышается частота встречаемости лиц с артериальной гипертензией (в сумме по систолическому и диастолическому артериальному давлению с 49% в группе юношей до 108% в выборке мужчин пожилого возраста), с инсулинорезистентностью (с 13% в группе юношей до 50% в группе пожилых мужчин), с повышенной концентрацией глюкозы в крови (в ряду от юношей к лицам пожилого возраста — 29, 30, 43% соответственно), а также повышается коэффициент атерогенности (увеличение отклонения показателя с 9% до 55–60% в более старших возрастных группах). Для лиц более старшего возраста также установлено повышение индекса бронхообструкции (19% — для юношей, 71% — для мужчин и 74% — для лиц пожилого возраста) на фоне снижения основных показателей функции внешнего дыхания при сохранении стабильно высокого уровня потребления табачных изделий (40–59%).

Заключение. Полученные результаты позволили сформировать матрицы функционального состояния, наглядно демонстрирующие снижение функциональных резервов и возрастание степени напряжения в деятельности анализируемых систем в ряду от представителей юношеского периода онтогенеза до группы лиц пожилого возраста.

Ключевые слова: функциональное состояние; физиологические резервы; Крайний Север.

Как цитировать:
Аверьянова И.В., Луговая Е.А., Вдовенко С.И., Барбарук Ю.В. Возрастные особенности организма жителей Крайнего Севера на основе построения матриц функционального состояния // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 41–53. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco111891

Рукопись получена: 14.10.2022 **Рукопись одобрена:** 07.12.2022 **Опубликована online:** 12.01.2023

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco111891

Far North residents' age-related peculiarities based on construction of functional state matrices

Inessa V. Averyanova, Elena A. Lugovaya, Sergei I. Vdovenko, Yuriy V. Barbaruk

Scientific Research Center "Arktika" (SRC "Arktika" FEB RAS), Magadan, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Living in Russia's Far North contributes to pronounced natural and social characteristics that exert an unfavorable influence on the human functional state.

AIM: This study assessed medical, physiological, and social factors determining the body functional state in northerners of different age groups.

METHODS: The research involved male residents of Magadan region, Caucasians by origin: 156 young men aged 17–21 (18.5±0.6) years, 56 men of the working age of 34–45 (37.4±0.5) years, and 45 elderly men aged 60–77 (65.9±1.1) years. The participants' somatometric variables were measured. The functioning of cardiovascular and respiratory systems, insulin resistance, as well as the levels of blood biochemistry, vitamin D, trace element, and basal metabolism were assessed. The subjective tobacco smoking and motor activity rates were also analyzed.

RESULTS: We can conclude that the body systemic functioning is increasingly stressed out with age. The sampled people exhibited higher incidence of arterial hypertension, which was rated in total by subjective systolic and diastolic blood pressure, with the incidence growing with increasing age, from 49% in younger subjects to 108% in older men; more common insulin resistance, from 13% in the youth to 50% in the elderly; elevated blood glucose level which was ranging (29%, 30%, 43% with age, respectively); and deviation of the atherogenicity coefficient rising from 9% to 55%–60% with increasing age. We also observed the same dependence of bronchial obstruction variables on age: from 19% incidence among younger subjects to 71% and 74% in middle-aged and older men, respectfully, with impaired respiratory functioning and consistently high levels (40%–59%) of reported tobacco consumption.

CONCLUSION: The developed matrices illustrate the worsening observed in subjective functional reserves and increasing intensity occurred in body systems of examinees as they grow from ontogenesis of the youth to the elderly.

Keywords: functional state; physiological reserves; Far North.

To cite this article:
Averyanova IV, Lugovaya EA, Vdovenko SI, Barbaruk YV. Far North residents' age-related peculiarities based on construction of functional state matrices. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(1):41–53. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco111891

Received: 14.10.2022 **Accepted:** 07.12.2022 **Published online:** 12.01.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Крайний Север России имеет ярко выраженные особенности природного и социального характера, негативно влияющие на функциональное состояние организма человека [1]. При этом воздействие климатогеографических условий Севера на организм человека выступает в качестве разрешающего фактора, потенцирующего снижение его адаптивного потенциала и постепенное смещение баланса в ряду «здоровье–патология». Подтверждением данного обстоятельства служат стабильно более высокие показатели первичной и общей заболеваемости населения в регионах Крайнего Севера в течение многих лет по сравнению с общероссийскими показателями [2]. Совокупность экстремальных факторов предъявляет организму значительные требования, вынуждая его использовать физиологические функциональные резервы, дополнительные социальные, биологические и техногенные средства защиты от неблагоприятных факторов окружающей среды [3].

Всё вышесказанное и тот факт, что Магаданская область относится к субарктической климатической зоне и полностью соответствует современным научным представлениям о циркумполярных регионах [4] (средняя температура января находится в пределах –26 °С, а средняя температура июля составляет +13,4 °С), обусловливают целесообразность сравнительного анализа состояния физиологических систем, а также социальных детерминант мужчин — постоянных жителей региона, относящихся к молодому, трудоспособному и пожилому возрасту. Необходимо подчеркнуть, что аналогичных комплексных работ, направленных на изучение вклада приоритетных детерминант морфофизиологического, социально-гигиенического состояния, которые отражают актуальный профиль функционального здоровья жителей-северян, до настоящего времени не проводилось.

Цель данного исследования. Выявление медико-физиологических и социальных факторов, определяющих уровень функционального состояния организма жителей-северян различных возрастных групп.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях, проводившихся в осенне-зимний период 2021 года (кроме исследования аспектов табакокурения), приняли участие 156 юношей (от 17 до 21 года, средний возраст — 18,5±0,6 года), 56 мужчин трудоспособного возраста (от 34 до 45 лет, средний возраст — 37,4±0,5 года) и 45 мужчин пожилого возраста (от 60 до 77 лет, средний возраст — 65,9±1,1 года) из числа европеоидов, проживающих на территории Магаданской области и обследуемых в рамках программы научного мониторинга психофизиологического состояния в условиях Северо-Востока России «Арктика. Человек. Адаптация» и «Арктика. Человек. Адаптация+», проводимого на базе Научно-исследовательского центра «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук (Магадан, Россия). Условием включения в исследования являлось отсутствие хронических заболеваний в стадии обострения и жалоб на состояние здоровья.

У обследуемых определяли базовые соматометрические характеристики: длину (см) и массу (кг) тела, из которых рассчитывали индекс массы тела (ИМТ, кг/м^2) [5]. С помощью тонометра Nissei DS-1862 (Япония) измеряли показатели систолического (САД, мм рт.ст.) и диастолического (ДАД, мм рт.ст.) артериального давления, пульс (частоту сердечных сокращений в минуту).

Функцию внешнего дыхания (ФВД) мужчин оценивали классическим и хорошо зарекомендовавшим себя методом индексации объёмного давления и пневматического потока на медицинском спирографе «Диамант-С» («Диамант», Россия). Спирометрия является «золотым стандартом» в диагностике заболеваний бронхолёгочной системы различного характера, прежде всего — хронической обструктивной болезни лёгких [6]. Все базовые характеристики ФВД автоматически сравнивали с должными значениями, представляющими собой величины, рассчитанные для популяции жителей Центральной части России [7]. Анализировали следующие показатели: мгновенные объёмные скорости на участках 25, 50, 75% от форсированной жизненной ёмкости лёгких: МОС25%, МОС50%, МОС75% (л/с), среднюю объёмную скорость (СОС25–75%, л/с), а также индекс бронхообструкции (индекс Генслера, %).

У испытуемых забирали венозную кровь натощак вакуумной системой в лаборатории «Юнилаб» (Хабаровск, Россия). Концентрацию глюкозы измеряли с использованием гексокиназного метода на биохимическом анализаторе AU680 (Beckman Coulter, США). Инсулинорезистентность рассчитывали на основе предложенной в 1985 году D.R. Matthews и соавт. [8] формулы для расчёта индекса HOMA-IR: [Инсулин (мкМЕ/мл) × Глюкоза (ммоль/л)]/22,5.

Концентрацию общего холестерина (ОХС, ммоль/л), триглицеридов (ммоль/л), холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП, ммоль/л) и холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП, ммоль/л) определяли колориметрическим фотометрическим методом с использованием того же биохимического анализатора AU680. Для оценки атерогенного потенциала липидного профиля рассчитывали коэффициент атерогенности (КА) по следующей формуле: КА=(ОХС–ЛПВП)/ЛПВП) [9]. Дислипидемию определяли исходя из критериев Российских рекомендаций VII пересмотра 2020 года [10] и на основе доклада экспертов NCEP [11].

Исследование 25-OH витамина D (25(OH)D) в сыворотке крови выполняли на автоматическом иммунохимическом анализаторе UniCel DxI 800 (Beckman Coulter, США) с использованием технологии ACCESS–ИФА. Для анализа полученных результатов применяли следующие пороговые значения в соответствии с критериями Клинических рекомендаций Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых (2016) [12]: оптимальной концентрацией 25(OH)D в сыворотке крови (как лучшего показателя запасов витамина D в организме) считалась концентрация 30–100 нг/мл (75–250 нмоль/л), недостаточность определялась при уровне, варьирующем от 20 до 30 нг/мл (50–75 нмоль/л), дефицит — при концентрации менее 20 нг/мл (менее 50 нмоль/л).

Для микроэлементного анализа в качестве биообъекта использовали волосы с затылочной части головы. В волосах определяли содержание 25 химических элементов: Al (алюминий), As (мышьяк), B (бор), Be (бериллий), Ca (кальций), Cd (кадмий), Co (кобальт), Cr (хром), Cu (медь), Fe (железо), Hg (ртуть), I (йод), K (калий), Li (литий), Mg (магний), Mn (марганец), Na (натрий), Ni (никель), P (фосфор), Pb (свинец), Se (селен), Si (кремний), Sn (олово), V (ванадий), Zn (цинк) — с помощью атомно-эмиссионной спектрометрии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой на атомно-эмиссионном спектрометре Optima 2000 DV, масс-спектрометре ELAN 9000, квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой NexION 300D (PerkinElmer Inc., США).

Исследование аспектов табакокурения в Магаданской области проводили с ноября 2018 по май 2019 года методом массового опроса населения. Использовали глобальный стандартизированный опрос ВОЗ по исследованию табачной эпидемии (Global Adult Tobacco Survey, GATS) [13]. Опрос проводили анонимно в очной форме в учебных заведениях, трудовых коллективах, общественных организациях и поквартирно.

Особенности двигательной активности жителей Магаданской области изучали с помощью стандартизированного опросника IPAQ [14]. Методика делит респондентов по уровню физической активности на три группы. Высокий уровень физической активности достигается метаболическими затратами 1500 MET с условием наличия минимум 3 дней с интенсивной физической активностью или 7 дней в неделю с нагрузками любой интенсивности при достижении 3000 MET. Средний уровень физической активности предполагает достижение хотя бы 600 MET в неделю с любыми нагрузками. Низкий уровень физической активности включает в себя людей, которые не входят в две первые категории. Методикой были охвачены мужчины трудоспособного и пожилого возраста.

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2013) [15]. Протокол одобрен комиссией по биоэтике Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН (№ 001/019 от 29.03.2019 г.). До включения в исследование у всех участников получено письменное информированное согласие.

Статистическая обработка результатов проведена с применением пакета прикладных программ Statistica 7.0. Проверку на нормальность распределения измеренных переменных осуществляли на основе теста Шапиро–Уилка. Результаты параметрических методов обработки представлены в виде среднего значения (M) и ошибки средней арифметической (±m). Все показатели отклонений измеряли в процентах от физиологической нормы или общепринятых референсных значений. Статистическую значимость различий значений определяли с помощью t-критерия Стьюдента. Критический уровень значимости p в работе принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Особенности в показателях физического развития проявлялись увеличением массы тела (84,0±0,7 кг), окружности грудной клетки (101,8±0,4 см), а также ИМТ (26,1±0,3 кг/м^2) в группе мужчин трудоспособного возраста относительно обследованных юношей, у которых средние величины массы тела составили 69,8±0,5 кг, окружности грудной клетки — 92,5±0,8 см, ИМТ — 21,8±0,1 кг/м^2. В группе лиц пожилого возраста средняя масса тела составила 84,3±1,5 кг, окружность грудной клетки — 106,0±0,9 см, ИМТ — 25,9±0,8 кг/м^2. Степень напряжения в деятельности сердечно-сосудистой системы оценивали по сумме частоты встречаемости лиц с высоким нормальным артериальным давлением (ВНАД) и артериальной гипертензией. Исходя из этого алгоритма степень напряжения в группе юношей составила 49% (по САД — 32%, по ДАД — 17%), а у мужчин данный показатель достигал 58% (по САД — 14%, по ДАД — 44%). В группе пожилых жителей Магадана степень напряжения составила 108% (по САД — 61%, по ДАД — 47%).

Отклонения по биохимическому профилю наблюдались во всех возрастных группах, при этом превышение нормативной границы для нормогликемии увеличилось в ряду от юношей к лицам пожилого возраста (29, 30, 43%). Аналогичная картина наблюдалась в отношении показателя инсулинорезистентности: здесь также была выражена отрицательная возрастная динамика (увеличение отклонения показателя с 13% у юношей до 50% у пожилых мужчин).

Статистически значимые различия проходимости крупных бронхов (МОС25%) наблюдались только в отношении юношей и мужчин трудоспособного возраста, в то время как для более мелких структур лёгких (МОС50%, МОС75%) подобная картина прослеживалась у всех возрастов, демонстрируя сильную отрицательную динамику, особенно выраженную для дистальных бронхиол (136, 76, 67%). Доля лиц с индексом Генслера ниже референса увеличивалась с возрастом (19% для юношей, 71% для мужчин и 74% для лиц пожилого возраста).

Энергометаболический профиль в ряду от юношей к мужчинам старшей возрастной группы не демонстрирует ни значимой динамики, ни какой-либо направленной тенденции изменения в возрастном аспекте. Следует, однако, отметить превышение нормативных значений базального метаболизма, установленного для возрастных и весоростовых характеристик обследованных во всех трёх группах.

Полученные результаты показали, что уровень 25(OH)D в сыворотке крови обследуемых мужчин трудоспособного возраста варьировал от 30,7 до 91,4 нмоль/л, а средний уровень в исследуемой выборке составил 62,0±1,7 нмоль/л. В соответствии с классификацией по критериям Эндокринного общества (2011) [16] и Европейской ассоциации эндокринологов [17], а также критериям Клинических рекомендаций Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых [12] оптимальный уровень витамина D в сыворотке крови мужчин трудоспособного возраста наблюдался у 24% обследуемых (при среднем значении в группе 82,9±1,3 нмоль/л), а у 41% выявлена недостаточность витамина D со средним значением в группе 65,8±1,7 нмоль/л. Для 35% мужчин данной группы характерен дефицит витамина D (42,4±1,2 нмоль/л). Средняя концентрация 25(OH)D у лиц пожилого возраста составила 63,6±2,8 нмоль/л. При анализе концентрации 25(OH)D в сыворотке крови обследуемых мужчин пожилого возраста выявлено, что оптимальная концентрация характерна для 24% лиц со средней величиной в группе, равной 88,6±1,7 нмоль/л. Недостаточность относительно концентрации витамина D со средним значением 65,6±1,9 нмоль/л выявлена у 43% лиц пожилого возраста, у 33% отмечен дефицит витамина D со средним значением в выборке в 42,2±1,4 нмоль/л.

В группе мужчин трудоспособного возраста дефицит витамина B_{12} выявлен у 25% обследуемых, у 69% отмечена его низкая концентрация и только у 6% — оптимальная концентрация витамина B_{12}. В то же время среди мужчин пожилого возраста дефицит витамина B_{12} зафиксирован у 12% выборки, недостаточность характерна для 63% обследуемых и у 25% отмечена оптимальная концентрация исследуемого витамина.

Элементный профиль юношей относительно сопоставим по набору отклоняющихся от нормы макро- и микроэлементов. В группе юношей суммарный дефицит составил 502 усл. ед. (%), избыток — 57 усл. ед. (%). Однако уже к 40 годам «северный» дефицит даже снижается за счёт трансформации: выявлен ранее не определяемый избыток фосфора у 28% обследуемых, у 10% — избыток лития и ртути, у 7% — избыток селена, тогда как у предыдущих групп этот элемент был в дефиците. Зато у третьей группы (пожилые мужчины) впервые выявлен дефицит ванадия — 47%, кремния — 43%. Таким образом, суммарный дефицит изученных элементов у мужчин трудоспособного возраста составил 494 усл. ед. (%), а избыток — 65 усл. ед. (%). При исследовании мужчин старше 60 лет установлен сильный дефицит хрома (51%), калия (32%), селена (24%), кремния (23%), магния (21%) и дефицит натрия (32%), мышьяка (22%), марганца (20%), т.е. примерно с трудоспособного возраста элементный статус продолжает претерпевать довольно сильные изменения и флуктуации. Суммарный дефицит у лиц старше 65 лет составил 378 усл. ед. (%), а избыток — 261 усл. ед. (%).

Исследование потребления табака среди мужского населения региона показало увеличение доли регулярно употребляющих табак лиц мужского пола от юношеского возраста к трудоспособному: с 40,4 до 59,7%. Модальное количество потребляемых сигарет возрастает с 10 до 20 штук. В пожилом возрасте регулярно употребляют табачные изделия 40% мужчин.

Обследование мужского населения с применением стандартизированного опросника IPAQ выявило, что суточная неинтенсивная физическая нагрузка у более половины мужчин трудоспособного возраста в 50% случаев составляет не более 40 мин в день. До 40% мужчин трудоспособного возраста получают такую физическую нагрузку не более двух дней в неделю. При этом 75% мужчин трудоспособного возраста регулярно пользуются личным автотранспортом в повседневной жизни. В 59% случаев респонденты отмечают, что их двигательная активность возрастает в выходные дни по сравнению с будними днями. Средний показатель затрат метаболических единиц у мужчин трудоспособного возраста составляет 1752 MET/нед, что соответствует среднему уровню физической активности. Доля мужчин пожилого возраста, имеющих дневную продолжительность неинтенсивной физической нагрузки до 40 мин, составляет 24%. Доля лиц, имеющих такие нагрузки два дня в неделю и менее, — 14%. Большинство обследованных мужчин старшего возраста имеют ежедневные неинтенсивные физические нагрузки и более 5 дней в неделю передвигаются для удовольствия или по повседневным делам пешком. Средний уровень MET/нед для этой выборки составил 5088 единиц, что можно отнести к высокому уровню физической активности. В выборке мужчин пожилого возраста только 57% пользуются личным автотранспортом, причём многие из них отмечают, что делают это редко.

ОБСУЖДЕНИЕ

Индекс массы тела в настоящее время является наиболее часто используемым инструментом скрининга ожирения [18]. Современные тенденции показывают, что к 2050 году 60% мужчин и 50% женщин во всем мире будут страдать ожирением [19]. Для оценки избытка или дефицита массы тела нами проведена дифференциация обследованных мужчин по величинам ИМТ, которая показала, что в исследуемой выборке отсутствуют лица, характеризующиеся дефицитом массы тела на фоне увеличения доли лиц с избыточной массой тела до 47%, чего не было отмечено в группе юношеского периода онтогенеза: для них дефицит массы тела зафиксирован в 10% случаев, а доля лиц с избыточной массой тела составила лишь 1%. Необходимо подчеркнуть, что частота встречаемости ожирения I степени выявлена у 1% обследуемых из числа юношей, тогда как в группе мужчин она возрастала до 17%. Нормальная масса тела в группе юношей была свойственна 79% обследуемых, а в группе мужчин трудоспособного возраста — лишь 36% обследуемых. Общее содержание жира в группе лиц пожилого возраста составило 25,9%, что на значимую величину выше, чем в группах обследованных юношей и мужчин. Полученные результаты отмечены на фоне более высоких величин ИМТ (25,9±0,8 кг/м^2), при этом дифференциация обследуемой группы по величинам ИМТ показала, что избыточная масса тела наблюдается у 58%, ожирение I степени выявлено у 25% обследуемых, а нормальная масса тела отмечена лишь у 17% мужчин пожилого возраста.

Уровень артериального давления относится к основным индикаторам функционального состояния сердечно-сосудистой системы, при этом поддержание оптимальной величины артериального давления обеспечивается достаточно сложной морфофизиологической системой, включающей совокупность нейрогуморальных процессов и соматометрических структур, объединённых сетью взаимосвязей [20]. Степень напряжения в деятельности сердечно-сосудистой системы оценивалась по сумме частоты встречаемости лиц с ВНАД и артериальной гипертензией по САД и ДАД и составила в группе юношей 49% (по САД — 32%, по ДАД — 17%), в группе мужчин трудоспособного возраста — 58% (по САД — 14%, по ДАД — 44%), в группе пожилых жителей изучаемого региона — 108% (по САД — 61%, по ДАД — 47%). При анализе динамики степени напряжения показателей сердечно-сосудистой системы отмечена интересная тенденция: в ряду от группы юношей к группе мужчин пожилого возраста отмечается снижение степени напряжения по САД с одновременным нарастанием доли лиц с ВНАД и артериальной гипертензией по ДАД, что, по-видимому, связано с периферической вазоконстрикцией, формирующейся с увеличением возраста при проживании в условиях Севера. Однако в группе лиц пожилого возраста авторы отметили увеличение доли лиц с ВНАД и артериальной гипертензией по САД и незначительное возрастание частоты встречаемости ВНАД и артериальной гипертензии по ДАД, что, по-видимому, обусловлено медикаментозной антигипертензивной терапией у обследуемых данной возрастной группы.

В целом анализ основных показателей физического развития выявил негативные тенденции в формировании соматометрического статуса современных мужчин-северян, что проявляется увеличением доли лиц с избыточной массой тела и ожирением I степени и в свою очередь служит значительным риском развития неинфекционных заболеваний, а также риском развития сердечно-сосудистых заболеваний. Такие перестройки соматического статуса наблюдались на фоне возрастания степени напряжения в деятельности сердечно-сосудистой системы, где сумма частоты встречаемости лиц с ВНАД и артериальной гипертензией по САД и ДАД в группе лиц пожилого возраста составила 108%.

Анализ динамики степени напряжения, касающийся характеристик биохимического профиля, выявил следующее: относительно показателей углеводного обмена показано, что в группе юношей превышение нормативного диапазона для нормогликемии (5,6 ммоль/л) зафиксировано в 29% случаев, в группе мужчин трудоспособного возраста — в 30%, а в группе лиц пожилого возраста — в 43%. Состояние инсулинорезистентности оценивали с помощью метода оценки гомеостатической модели (HOMA-IR) с точкой отсечения, равной 2,7 усл. ед. [21]. Полученные данные показали, что в группе юношей превышение референса по HOMA-IR характерно для 13% обследуемых, тогда как уже у 46% мужчин трудоспособного возраста отмечены величины, превышающие нормативный порог, и у 50% лиц пожилого возраста обнаружены признаки инсулинорезистентности. Полученные исследования показали, что для обследуемых как из числа юношей, так и мужчин трудоспособного и пожилого возраста характерен неблагоприятный уровень углеводного обмена, проявляющийся возрастанием доли лиц с показателями, отклоняющимися от нормогликемического порога, что можно рассматривать как тенденцию, указывающую на развитие преддиабетического состояния уже в юношеском возрастном периоде с усугублением данной ситуации в более старших возрастных группах. Значимое увеличение доли лиц с индексом HOMA-IR, превышающим нормативный диапазон, в более старших возрастных группах свидетельствует о высоком проценте развития инсулинорезистентности, которая в свою очередь может служить ранним маркёром метаболических нарушений.

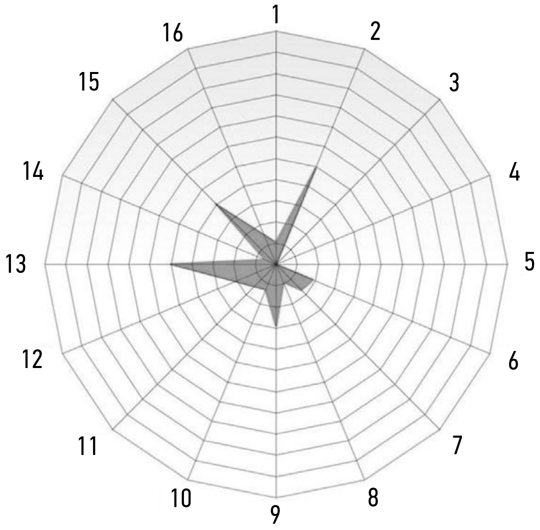
Дислипидемические сдвиги — это результат комплексного взаимодействия генетических факторов, факторов окружающей среды и образа жизни [22], что неразрывно связано со здоровьем сердечно-сосудистой системы. Именно поэтому холестерин ЛПНП и холестерин ЛПВП в настоящее время используются как достаточно информативные биомаркёры для оценки риска развития сердечно-сосудистых заболеваний [23]. Необходимо подчеркнуть, что ЛПНП и ЛПВП являются давно установленными стандартными факторами риска развития сердечно-сосудистых заболеваний и нарушения метаболического здоровья [24]. Проведённый анализ степени отклонений от нормативного диапазона основных характеристик липидограммы показал, что в группе юношей гиперхолестеринемия и повышение ЛПНП отмечено у 1 и 5% соответственно. Для группы обследованных мужчин трудоспособного возраста характерна более высокая частота встречаемости нарушений липидного профиля, проявляющаяся гиперхолестеринемией в 61% случаев и повышением ЛПНП уже в 80% случаев. В группе лиц пожилого возраста у 70% обследуемых выявлены высокие показатели ОХС, для 70% характерны высокие показатели ЛПНП, превышающие нормативный диапазон. Расчёт КА показал, что превышение нормативного порога для данного показателя более 3 усл. ед. характерно для 9% юношей; у 60% мужчин трудоспособного возраста и у 55% мужчин пожилого возраста выявлен высокий риск развития атеросклероза и риск развития сердечно-сосудистых заболеваний (исходя из превышения порогового значения для КА). Необходимо отметить, что в целом наши результаты соответствуют выводам Фрамингемского исследования, где установлено возрастание основных характеристик липидного профиля (ОХС, ЛПНП) в возрастном аспекте [25], что, по мнению авторов, обусловлено возрастозависимым нарушением регуляции обмена холестерина во всем организме [26]. Анализ липидограмм показал, что для мужчин трудоспособного и пожилого возраста, проживающих в условиях Севера, характерен более атерогенный профиль, чем у юношей того же региона проживания. Это проявляется увеличением концентрации ОХС, ЛПНП, триглицеридов на фоне повышения индексов, отражающих степень атерогенности липидного профиля. Полученные результаты можно рассматривать как достаточно тревожный фактор риска развития сердечно-сосудистых заболеваний и метаболического синдрома в более старших возрастных группах. Это в полной мере соответствует рекомендациям NCEP ATP III, которые указывают на то, что мужчины трудоспособного возраста имеют повышенный риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и должны рассматриваться как группы для более агрессивной первичной профилактики, направленной на оптимизацию характеристик липидного обмена [11].

Функция внешнего дыхания заслуживает особого внимания, так как на фоне выраженных возрастных изменений она находится в состоянии дополнительного напряжения по причине своей функциональной лабильности и постоянного контакта с окружающей средой [27]. Возрастная динамика ФВД установлена для всех трёх групп обследованных. Следует отметить, что проходимость крупных бронхов (МОС25%) значимо различалась только у юношей и мужчин трудоспособного возраста, а в отношении более мелких структур лёгких (МОС50%, МОС75%) продемонстрирована сильная отрицательная динамика у обследуемых всех возрастов, особенно выраженная для дистальных бронхиол (последовательное снижение для них составило 136, 76, 67% соответственно). Следует также отметить, что индекс Генслера находился в границах нормативного диапазона лишь у юношей, значимо снижаясь у остальных обследуемых. При этом доля лиц, не входящих в данный диапазон, прогрессивно увеличивалась с возрастом (19% для юношей, 71% для трудоспособных мужчин и 74% для лиц пожилого возраста). О снижении с возрастом показателей ФВД говорится и в исследованиях других авторов [28, 29]. Необходимо подчеркнуть, что обнаруженное в ряду от юношей до мужчин пожилого возраста возрастное снижение воздухоносности лёгочной ткани с одновременным повышением индекса Генслера может свидетельствовать о состоянии возможного исчерпания резервов лёгочной ткани на фоне увеличивающейся нагрузки на сердечно-сосудистый компонент кардиореспираторной системы, работающей со всё возрастающей нагрузкой, когда перфузия обеспечивается не задействованием резервных ацинусов легких, а ростом давления системного кровообращения.

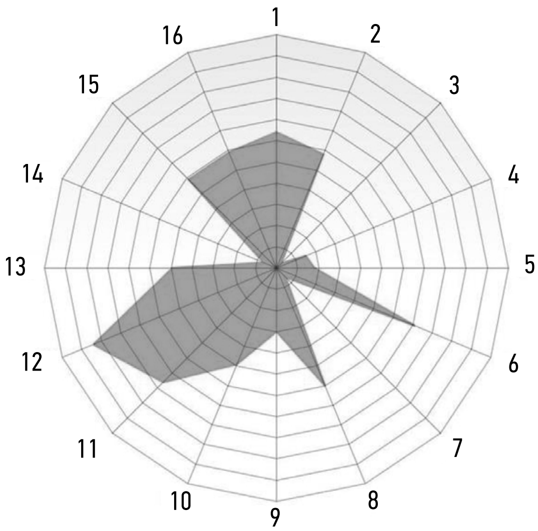
Дефицит витамина D является проблемой общественного здравоохранения, поскольку носит пандемический характер [30, 31]. Показано, что уровень 25(OH)D в сыворотке крови обратно связан с риском абдоминального ожирения, артериальной гипертензией и аномальным гомеостазом глюкозы [32], а также риском развития резистентности к инсулину [33]. Необходимо отметить, что на сегодняшний день нет данных о статусе витамина D у населения Магаданской области. Настоящее исследование является первым на территории данного региона, направленным на оценку статуса витамина D у европеоидного населения различных возрастных групп, проживающего в условиях Крайнего Севера. Установлено, что оптимальное содержание витамина D в сыворотке крови у мужчин трудоспособного возраста наблюдалось лишь у 24% обследуемых, у 41% выявлена недостаточность витамина D, а для 35% был характерен дефицит данного витамина. В группе мужчин пожилого возраста оптимальное содержание характерно для 24%, недостаточность выявлена у 43% и у 33% отмечен дефицит витамина D.

Дефицит витамина B_{12} также является общемировой проблемой и наиболее часто встречается в группе лиц пожилого возраста [34]. Концентрация витамина B_{12} считается дефицитной и низкой, когда уровень его в сыворотке крови ниже 200 пг/мл (147 пмоль/л) и ниже 400 пг/мл (296 пмоль/л) соответственно [35]. По сравнению с предельно низкой концентрацией витамина B_{12} у лиц трудоспособного возраста в старшей возрастной группе она несколько повышается. Необходимо подчеркнуть, что недостаточную концентрацию витамина B_{12} связывают с большим количеством жировых отложений у здоровых взрослых, не страдающих ожирением [36], что в полной мере согласуется с нашими данными ввиду возрастания доли лиц с высокими значениями ИМТ в старших возрастных группах.

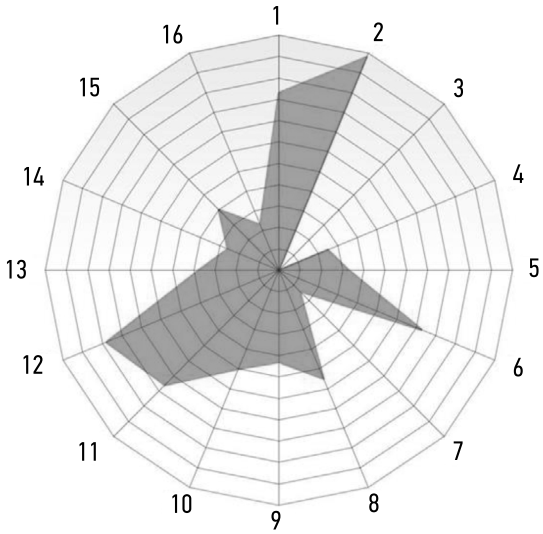
Микроэлементы играют важную роль в обменных процессах в организме, а также участвуют в регуляции обмена веществ, сосудистого тонуса, нервной деятельности, иммунного статуса и в функционировании всех органов и систем на клеточном уровне. При этом известно, что волосы служат определённым биомонитором, так как элементы постоянно откладываются в волосяном стержне по мере его роста и при этом снабжаются кровью [37]. Элементный состав волос (в отличие от крови или мочи) отражает длительное воздействие микроэлементов, так как волосы являются индикатором прошлых изменений метаболизма и воздействия окружающей среды [38]. Изменение макро- и микроэлементного профиля организма



Юноши | Young men



Мужчины трудоспособного возраста | Working age men



Мужчины пожилого возраста | Elderly age men

Рис. 1. Матрицы снижения функциональных резервов в онтогенетическом аспекте: 1 — доля лиц с индексом массы тела более 25 кг/м^2; 2 — доля лиц с высоким нормальным артериальным давлением и артериальной гипертензией в сумме по САД (мм рт.ст.) и ДАД (мм рт.ст.); 3 — среднее значение проходимости крупных бронхов ниже должной величины; 4 — среднее значение проходимости средних бронхов ниже должной величины; 5 — среднее значение проходимости мелких бронхов ниже должной величины; 6 — доля лиц с индексом Генслера ниже нормативного диапазона (85 усл. ед.); 7 — энерготраты в состоянии покоя в сутки (REE, ккал/день), превышающие должные величины; 8 — доля лиц с коэффициентом атерогенности липидного спектра, превышающим нормативный диапазон; 9 — доля лиц с уровнем глюкозы в крови выше 5,6 ммоль/л; 10 — доля лиц с HOMA-IR (индекс инсулинорезистентности) выше 2,7 усл. ед.; 11 — доля лиц с дефицитом и недостаточностью витамина D; 12 — доля лиц с дефицитом и недостаточностью витамина B_{12}; 13 — суммарный процент дефицитных проявлений микроэлементного профиля /10; 14 — суммарный процент избыточных проявлений микроэлементного профиля /10; 15 — доля лиц с пристрастием к табакокурению; 16 — доля лиц со сниженной двигательной активностью и гиподинамией. Размерность осей — от 0 до 110%.

Fig. 1. Matrices for the decline of functional reserves in the ontogenetic aspect: 1 — proportion of persons with body mass index more than 25 kg/m^2; 2 — proportion of persons with high normal blood pressure and arterial hypertension in total by BP_S (mmHg) and BP_D (mmHg); 3 — mean variable of patency of large bronchi below the proper value; 4 — mean variable of patency of medium bronchi below the proper value; 5 — mean variable of patency of small bronchi below the proper value; 6 — proportion of persons with the Gensler Index below the standard range (85 conv. units); 7 — resting energy expenditure per day (REE, kcal per day) above the proper value; 8 — proportion of persons with the coefficient of atherogenicity of the lipid spectrum above the standard range; 9 — proportion of persons with the blood glucose level above 5.6 mmol/L; 10 — proportion of persons with HOMA-IR (insulin resistance index) above 2.7 conv. units; 11 — proportion of persons with vitamin D deficit and insufficiency; 12 — proportion of persons with vitamin B_{12} deficit and insufficiency; 13 — total percentage of the deficit trace element incidence /10; 14 — total percentage of the excess trace element incidence /10; 15 — proportion of persons with an addiction to tobacco smoking; 16 — proportion of persons with a reduced motor activity and hypodynamia. Dimensionality of axes is from 0 to 110%.

северян свидетельствует о значительном возрастном изменении концентрации элементов в системе координат «дефицит–норма–избыток», а стабильного содержания химических элементов в организме не обнаружено. Анализ степени отклонений от нормативного диапазона нарушений микроэлементного профиля в группах юношей, мужчин трудоспособного и пожилого возраста показал, что для изучаемых групп характерна трансформация путем снижения «северного» дефицита химических элементов и возрастания избыточных концентраций в ряду от юношей до лиц пожилого возраста.

Исследование в рамках опроса GATS [39] в Магаданской области показало, что, как и в других северных регионах России, здесь высока распространённость курения среди всех демографических групп населения [40]. Так, среди юношей курят 40,4%, в группе мужчин трудоспособного возраста — уже 59,7%. Увеличивается и модальное количество потребляемых сигарет — с 10 до 20 единиц в сутки. К пожилому возрасту доля курящих мужчин снижается до 40%, модальным остаётся значение 20 выкуриваемых в сутки сигарет.

Дефицит интенсивной и неинтенсивной физических нагрузок приводит к комплексным проблемам со здоровьем человека [41]. В нашем исследовании установлено, что более 50% мужчин трудоспособного возраста имеют суточную неинтенсивную физическую нагрузку не более 40 мин в день, при этом у 40% таких мужчин нагрузка фиксируется не более двух дней в неделю. В то же время в 59% случаев респонденты этой группы отмечают возрастание двигательной активности в выходные по сравнению с будними днями. Три четверти мужчин трудоспособного возраста регулярно пользуются личным автотранспортом в повседневной жизни. Средний показатель затрат метаболических единиц у мужчин трудоспособного возраста — 1752 MET/нед (средний уровень физической активности). Доля мужчин пожилого возраста с дневной продолжительностью неинтенсивной физической нагрузки до 40 мин меньше, чем у лиц трудоспособного возраста, и составляет 24%. При этом нагрузки два дня в неделю и менее отмечены лишь у 14% пожилых участников исследования. Большинство таких мужчин имеют ежедневные неинтенсивные физические нагрузки и более 5 дней в неделю передвигаются для удовольствия или по повседневным делам пешком. Только 57% пользуются личным автотранспортом, многие из них отмечают, что делают это редко. Средний уровень для данной выборки составил 5088 MET/нед, что можно отнести к высокому уровню физической активности.

Полученные результаты позволили сформировать матрицы снижения функциональных резервов в онтогенетическом аспекте (рис. 1), которые наглядно демонстрируют возрастание степени напряжения в деятельности анализируемых систем в ряду от представителей юношеского периода онтогенеза до лиц пожилого возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе комплексного исследования жителей-северян разных возрастных групп проанализирован вклад анализируемых детерминант в формирование такого функционального состояния, которое отражает возможный риск снижения функционального здоровья. Полученные результаты являются базой для мероприятий, направленных на сохранение здоровья на основе детерминант физического (морфофизиологического) и социально-гигиенических факторов, на которые необходимо оказывать влияние.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: И.В. Аверьянова участвовала в разработке концепции статьи, утвердила дизайн исследования, проанализировала соматометрический и биохимический блок исследований; Е.А. Луговая участвовала в разработке концепции статьи, внесла вклад в подготовку и проведение исследований, проанализировала микроэлементный блок исследований; С.И. Вдовенко внёс вклад в подготовку и проведение исследований, доработку рукописи статьи, проанализировал внешнее дыхание и энергометаболизм; Ю.В. Барбарук внёс вклад в подготовку и проведение исследований, проанализировал двигательную активность и проблематику распространения табакокурения в исследованных группах.

Authors' contribution. I.V. Averyanova has significantly contributed to the conception and design of the study as well as has made the analysis of somatometric and biochemical section. E.A. Lugovaya has participated in drafting the conception, data acquisition and research fulfilment as well as has made the analysis of trace mineral section. S.I. Vdovenko has contributed to preparation and conduct of the research, modification of the manuscript, and has assessed the external respiration and energy metabolism. Y.V. Barbaruk has contributed to preparation and conduct of the research and has assessed the motor activity and the problem of tobacco smoking in the studied groups. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Финансирование исследования. Публикация осуществлена при поддержке гранта, полученного Научно-исследовательским центром адаптации человека в Арктике, филиалом Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (НИЦ МБП КНЦ РАН) на тему «The contribution of reproductive health and the quality of the Arctic environment to the Wellbeing of the Kola Sami», софинансируемого через сквозные фонды Международного арктического научного комитета (IASC) при участии Рабочих групп IASC: по социальным и гуманитарным вопросам (SHWG) и Международной научной инициативы в Российской Арктике (ISIRA).

Funding sources. The publication was supported by a grant received by the Research Centre for Human Adaptation in the Arctic, Branch of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Science” (RCHAA KSC RAS) on “The contribution of reproductive health and the quality of the Arctic environment to the Wellbeing of the Kola Sami” is co-funded through the International Arctic Science Committee (IASC) cross-cutting funds with contributions from the IASC Social & Human Working Group (SHWG) and the International Science Initiative in the Russian Arctic (ISIRA).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Competing interests. The authors declare that there is no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов А.Л. Современные проблемы адаптационных процессов и экологии человека в приполярных и арктических регионах России: концептуальные подходы к решению // Ульяновский медико-биологический журнал. 2015. № 1. С. 131–143.
2. Корчин В.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М., и др. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения // Журнал медико-биологических исследований. 2021. Т. 9, № 1. С. 77–88. doi: 10.37482/2687-1491-Z046
3. Risikko T., Makinen T.M., Hassi I. Assessment andmanagement ofcoldrisks in construction industry // Barents. 2001. Vol. 4, N 1. P. 18–20. doi: 10.3402/ijch.v62i2.17557
4. Snodgrass J.J. Health of indigenous circumpolar populations // Annual Review of Anthropology. 2013. Vol. 42. P. 69–87. doi: 10.1146/annurev-anthro-092412-155517
5. Юрьев В.В., Симаходский А.С., Воронович Н.Н., Хомич М.М. Рост и развитие ребенка / под ред. Ю.В. Староверова, Т.П. Ульяновой. Санкт-Петербург : Питер, 2008. 272 с.
6. Wang C., Chen X.X., Zhao R., et al. Predicting forced vital capacity (FVC) using support vector regression (SVR) // Physiol Meas. 2019. Vol. 40, N 2. P. 025010. doi: 10.1088/1361-6579/ab031c
7. Клемент Р.Ф., Лаврушин А.А., Тер-Погосян П.А., Котегов Ю.М. Инструкция по применению формул и таблиц должных величин основных спирографических показателей. Ленинград : МЗ СССР, ВНИИ пульмонологии, 1986. 79 с.
8. Matthews D.R., Hosker J.P., Rudenski A.S., et al. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentration in man // Diabetologia. 1985. Vol. 28, N 7. P. 412–419. doi: 10.1007/bf00280883
9. Климов А.Н., Никульчева Н.Г. Обмен липидов и липопротеидов и его нарушение: руководство для врачей. Санкт-Петербург : Питер, 1999. 512 с.
10. Кухарчук В.В., Ежов М.В., Сергиенко И.В., и др. Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза. Российские рекомендации, VII пересмотр // Атеросклероз и дислипидемии. 2020. № 1. С. 7–40. doi: 10.34687/2219-8202.JAD.2020.01.0002
11. National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III). Third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III) final report // Circulation. 2002. Vol. 106, N 25. P. 3143–3421.
12. Пигарова Е.А., Рожинская Л.Я., Белая Ж.Е., и др. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых // Проблемы эндокринологии. 2016. Т. 62, № 4. С. 60–84. doi: 10.14341/probl201662460-84
13. Sadykova J., Yakhiyayeva T., Kalmatayeva Zh. Tobacco epidemic trend among Almaty teenagers // Tob Prev Cessation. 2018. Vol. 4 (suppl.). P. A127. doi: 10.18332/tpc/91512
14. Guidelines for Data Processing and Analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) — short and long forms [Internet]. IPAQ, 2005. 15 c. Дата обращения: 17.12.2021. Доступ по ссылке: https://sites.google.com/site/theipaq/scoring-protocol
15. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects // JAMA. 2013. Vol. 310, N 20. P. 2191–2194. doi: 10.1001/jama.2013.281053
16. Holick M.F., Binkley N.C., Bischoff-Ferrari H.A., et al. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline // J Clin Endocrinol Metab. 2011. Vol. 96, N 7. P. 1911–1930. doi: 10.1210/jc.2011-0385
17. Pludowski P., Karczmarewicz E., Bayer M., et al. Practical guidelines for the supplementation of vitamin D and the treatment of deficits in Central Europe — recommendation of vitamin D intakes in the general population and groups at risk of vitamin D deficiency // Endokrynol Pol. 2013. Vol. 64, N 4. P. 319–327. doi: 10.5603/ep.2013.0012
18. Janssen J.I., Heymsfield S.B., Wang Z.M., Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr // J Appl Physiol. 2000. Vol. 89, N 1. P. 81–88. doi: 10.1152/jappl.2000.89.1.81
19. Ye X.F., Dong W., Tan L.L., et al. Identification of the most appropriate existing anthropometric index for home-based obesity screening in children and adolescents // Public Health. 2020. Vol. 189. P. 20–25. doi: 10.1016/j.puhe.2020.09.007
20. Кобалава Ж.Д., Колесник Э.Л., Троицкая Е.А. Современные европейские рекомендации по артериальной гипертонии: обновленные позиции и нерешенные вопросы // Клиническая фармакология и терапия. 2019. Т. 28, № 2. С. 7–18.
21. Katsuki A., Sumida Y., Gabazza E.C., et al. Homeostasis model assessment is a reliable indicator of insulin resistance during folow-up of patients with type 2 diabetes // Diabetes Care. 2001. Vol. 24, N 2. P. 362–365. doi: 10.2337/diacare.24.2.362
22. Halcox J.P., Banegas J.R., Roy C., et al. Prevalence and treatment of atherogenic dyslipidemia in the primary prevention of cardiovascular disease in Europe: EURIKA, a cross-sectional observational study // BMC Cardiovasc Disord. 2017. Vol. 17, N 1. P. 160. doi: 10.1186/s12872-017-0591-5

23. Morgan A.E., Mooney K.M., Wilkinson S.J., et al. Mathematically modelling the dynamics of cholesterol metabolism and ageing // Biosystems. 2016. Vol. 145. P. 19–32. doi: 10.1016/j.biosystems.2016.05.001
24. Holt R., Petersen J.H., Dinsdale E., et al. Vitamin D supplementation improves fasting insulin levels and HDL cholesterol in infertile men // J Clin Endocrinol Metab. 2022. Vol. 107, N 1. P. 98–108. doi: 10.1210/clinem/dgab667
25. Catapano A.L., Graham I., De Backer G., et al. ESC/EAS guidelines for the management of dyslipidaemias: the task force for the management of dyslipidaemias of the European society of cardiology (ESC) and European atherosclerosis society (EAS) // Eur Heart J. 2016. Vol. 27. P. 272. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2016.08.018
26. Mooney K.M., Mc Auley M.T. Cardiovascular disease and healthy ageing // J Int Cardiol. 2015. Vol. 1, N 4. P. 76–78. doi: 10.15761/jic.1000122
27. Сафронова Н.С., Викулова Н.Н. Этно-физиологические особенности возрастных изменений механики дыхания у мужчин Крыма. В кн.: Агаджаняновские чтения: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 28–29 января 2016 года. Москва : Российский университет дружбы народов (РУДН), 2016. С. 116–117.
28. Janssens J.P., Pache J.C., Nicod L.P. Physiological changes in respiratory function associated with ageing // Eur Respir J. 1999. Vol. 13, N 1. P. 197–205. doi: 10.1034/j.1399-3003.1999.13a36.x
29. Kim J., Sapienza C.M. Implications of expiratory muscle strength training for rehabilitation of the elderly: tutorial // J Rehabil Res Dev. 2005. Vol. 42, N 2. P. 211–224. doi: 10.1682/jrrd.2004.07.0077
30. Holick M.F. The vitamin D deficiency pandemic: a forgotten hormone important for health // Public Health Reviews. 2010. Vol. 32. P. 267–283. doi: 10.1007/bf03391602
31. Mansouri M., Abasi R., Nasiri M., et al. Association of vitamin D status with metabolic syndrome and its components: a cross-sectional study in a population of high educated Iranian adults // Diabetes Metab Syndr. 2018. Vol. 12, N 3. P. 393–398. doi: 10.1016/j.dsx.2018.01.007
32. Mirnamniha M., Faroughi F., Tahmasbpour E., et al. An overview on role of some trace elements in human reproductive health, sperm function and fertilization process // Rev Environ Health. 2019. Vol. 34, N 4, P. 339–348. doi: 10.1515/reveh-2019-0008
33. Dawson-Hughes B., Staten M.A., Knowler W.C., et al. Intratrial exposure to vitamin D and new-onset diabetes among adults with prediabetes: a secondary analysis from the vitamin D and type 2 diabetes (D2d) study // Diabetes Care. 2020. Vol. 43, N 12. P. 2916–2922. doi: 10.2337/dc20-1765
34. Irevall T., Axelsson I., Naumburg E. B12 deficiency is common in infants and is accompanied by serious neurological symptoms // Acta Paediatr. 2017. Vol. 106, N 1. P. 101–104. doi: 10.1111/apa.13625
35. Araújo J.R., Martel F., Borges N., et al. Folates and aging: role in mild cognitive impairment, dementia and depression // Ageing Res Rev. 2015. Vol. 22. P. 9–19. doi: 10.1016/j.arr.2015.04.005
36. Alarcon-Ruiz C.A., Pantoja-Torres B., Guarnizo-Poma M., et al. Vitamin B12 associated to total body fat in healthy non-obese adults according to insulin resistance status // Metabolism — Clinical and Experimental. 2021. Vol. 116. P. 154–619. doi: 10.1016/j.metabol.2020.154619
37. Sela H., Karpas Z., Zoriy M., et al. Biomonitoring of hair samples by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry // International Journal of Mass Spectrometry. 2007. Vol. 261, N 2-3. P. 199–207. doi: 10.1016/j.ijms.2006.09.018
38. Ashraf W., Jaffar M. Concentrations of selected metals in scalp hair of an occupationally exposed population segment of Pakistan // International Journal of Environmental Studies. 1997. Vol. 51, N 4. P. 313–321. doi: 10.1080/00207239708711089
39. Palipudi K., Morton J., Hsia J., et al. Methodology of the global adult tobacco survey 2008–2010 // Glob Health Promot. 2016. Vol. 23, Suppl 2. P. 3–23. doi: 10.1177/1757975913499800
40. Росстат. Итоги Выборочного наблюдения состояния здоровья населения в 2018 г. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/itog_inspect Дата обращения: 23.12.2021.
41. Zhou Y.H., Guo Y., Wang F., et al. Association of sex hormones and fat distribution in men with different obese and metabolic statuses // Int J Gen Med. 2022. Vol. 15. P. 1225–1238. doi: 10.2147/IJGM.S351282

REFERENCES

1. Maksimov AL. Modern problems of adaptation processes and human ecology in the polar and Arctic regions of Russia: conceptual approaches to solve them. *Ulyanovsk Medico-biological Journal*. 2015;(1):131–143. (In Russ).
2. Korchin VI, Korchina TYa, Ternikova EM, et al. Influence of climatic and geographical factors of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the health of the population (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2021;9(1):77–88. (In Russ). doi: 10.37482/2687-1491-Z046
3. Risikko T, Makinen T, Hassi I. Assessment andmanagement ofcoldrisks in construction industry. *Barents*. 2001;4(1):18–20. doi: 10.3402/ijch.v62i2.17557
4. Snodgrass JJ. Health of indigenous circumpolar populations. *Annual Review of Anthropology*. 2013:42:69–87. doi: 10.1146/annurev-anthro-092412-155517
5. Jur'ev VV, Simahodskij AS, Voronovich NN, Homich MM. *Rost i razvitie rebenka*. Staroverov JuI, Ul'janova TP, editors. Saint-Petersburg: Piter; 2008. 272 p. (In Russ).
6. Wang C, Chen X, Zhao R, et al. Predicting forced vital capacity (FVC) using support vector regression (SVR). *Physiol Meas*. 2019;40(2):025010. doi: 10.1088/1361-6579/ab031c
7. Klement RF, Lavrushin AA, Ter-Pogosjan PA, Kotegov JuM. *Instrukcija po primeneniju formul i tablic dolzhnyh velichin osnovnyh spirograficheskih pokazatelej*. Leningrad: MZ SSSR, VNII pul'monologii. 1986, 79 p. (In Russ).
8. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, et al. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentration in man. *Diabetologia*. 1985;28(7):412–419. doi: 10.1007/bf00280883

9. Klimov AN, Nikul'cheva NG. *Obmen lipidov i lipoproteidov i ego narushenie: rukovodstvo dlja vrachej*. Sankt-Peterburg: Piter; 1999. 512 p. (In Russ).
10. Kukharchuk VV, Ezhov MV, Sergienko IV, et al. Diagnosis and correction of lipid metabolism disorders in order to prevent and treat atherosclerosis. Russian recommendations, VII revision. *Journal of Atherosclerosis and Dyslipidemias*. 2020;(1):7–40. (In Russ). doi: 10.34687/2219-8202.JAD.2020.01.0002
11. National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III). Third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation*. 2002;106(25):3143–3421.
12. Pigarova EA, Rozhinskaya LYa, Belaya JaE, et al. Russian association of endocrinologists recommendations for diagnosis, treatment and prevention of vitamin D deficiency in adults. *Problems of Endocrinology*. 2016;62(4):60–84. (In Russ). doi: 10.14341/probl201662460-84
13. Sadykova J, Yakhiyayeva T, Kalmatayeva Zh. Tobacco epidemic trend among Almaty teenagers. *Tob Prev Cessation*. 2018; 4(suppl.):A127. doi: 10.18332/tpc/91512
14. *Guidelines for Data Processing and Analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) — short and long forms* [Internet]. IPAQ, 2005. 15 p. [cited 2021 Dec 17]. Available from: https://sites.google.com/site/theipaq/scoring-protocol
15. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*. 2013;310(20):2191–2194. doi: 10.1001/jama.2013.281053
16. Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA, et al. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an endocrine society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab*. 2011;96(7):1911–1930. doi: 10.1210/jc.2011-0385
17. Pludowski P, Karczmarewicz E, Bayer M, et al. Practical guidelines for the supplementation of vitamin D and the treatment of deficits in Central Europe — recommendation of vitamin D intakes in the general population and groups at risk of vitamin D deficiency. *Endokrynol Pol*. 2013;64(4):319–327. doi: 10.5603/ep.2013.0012
18. Janssen JI, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *J Appl Physiol*. 2000;89(1):81–88. doi: 10.1152/jappl.2000.89.1.81
19. Ye XF, Dong W, Tan LL, et al. Identification of the most appropriate existing anthropometric index for home-based obesity screening in children and adolescents. *Public Health*. 2020;189:20–25. doi: 10.1016/j.puhe.2020.09.007
20. Kobalava ZhD, Kolesnik EL, Troitskaya EA. Current european guidelines on arterial hypertension: new positions and unsolved issues. *Klinicheskaja farmokologija i terapija*. 2019;28(2):7–18. (In Russ).
21. Katsuki A. Homeostasis model assessment is a reliable indicator of insulin resistance during folow-up of patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2001;24(2):362–365. doi: 10.2337/diacare.24.2.362
22. Halcox JP, Banegas JR, Roy C, et al. Prevalence and treatment of atherogenic dyslipidemia in the primary prevention of cardiovascular disease in Europe: EURIKA, a cross-sectional observational study. *BMC Cardiovasc Disord*. 2017;17(1):160. doi: 10.1186/s12872-017-0591-5
23. Morgan AE, Mooney KM, Wilkinson SJ, et al. Mathematically modelling the dynamics of cholesterol metabolism and ageing. *Biosystems*. 2016;145:19–32. doi: 10.1016/j.biosystems.2016.05.001
24. Holt R, Petersen JH, Dinsdale E, et al. Vitamin D supplementation improves fasting insulin levels and hdl cholesterol in infertile men. *J Clin Endocrinol Metab*. 2022;107(1):98–108. doi: 10.1210/clinem/dgab667
25. Catapano AL, Graham I, De Backer G, et al. ESC/EAS guidelines for the management of dyslipidaemias: the task force for the management of dyslipidaemias of the European society of cardiology (ESC) and European atherosclerosis society (EAS). *Eur Heart J*. 2016;27:272. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2016.08.018
26. Mooney KM, Mc Auley MT. Cardiovascular disease and healthy ageing. *J Int Cardiol*. 2015;1(4):76–78. doi: 10.15761/jic.1000122
27. Safronova NS, Vikulova NN. Jetno-fiziologicheskie osobennosti vozrastnyh izmenenij mehaniki dyhanija u muzhchin Kryma. In: *Agadzhanjanovskie chtenija: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. Moscow, 2016 Jan 28–29; Moscow: Rossijskij universitet druzhby narodov (RUDN); 2016: 116–117. (In Russ).
28. Janssens JP, Pache JC, Nicod LP. Physiological changes in respiratory function associated with ageing. *Eur Respir J*. 1999;13(1):197–205. doi: 10.1034/j.1399-3003.1999.13a36.x
29. Kim J, Sapienza CM. Implications of expiratory muscle strength training for rehabilitation of the elderly: tutorial. *J Rehabil Res Dev*. 2005;42(2):211–224. doi: 10.1682/jrrd.2004.07.0077
30. Holick MF. The vitamin D deficiency pandemic: a forgotten hormone important for health. *Public Health Reviews*. 2010;32:267–283. doi: 10.1007/bf03391602
31. Mansouri M, Abasi R, Nasiri M, et al. Association of vitamin D status with metabolic syndrome and its components: a cross-sectional study in a population of high educated Iranian adults. *Diabetes Metab Syndr*. 2018;12(3):393–398. doi: 10.1016/j.dsx.2018.01.007
32. Mirnamniha M, Faroughi F, Tahmasbpour E, et al. An overview on role of some trace elements in human reproductive health, sperm function and fertilization process. *Rev Environ Health*. 2019;34(4):339–348. doi: 10.1515/reveh-2019-0008
33. Dawson-Hughes B, Staten MA, Knowler WC, et al. Intratrial exposure to vitamin D and new-onset diabetes among adults with prediabetes: a secondary analysis from the vitamin D and type 2 diabetes (D2d) study. *Diabetes Care*. 2020;43(12):2916–2922. doi: 10.2337/dc20-1765
34. Irevall T, Axelsson I, Naumburg E. B12 deficiency is common in infants and is accompanied by serious neurological symptoms. *Acta Paediatr*. 2017;106(1):101–104. doi: 10.1111/apa.13625
35. Araújo JR, Martel F, Borges N, et al. Folates and aging: role in mild cognitive impairment, dementia and depression. *Ageing Res Rev*. 2015;22:9–19. doi: 10.1016/j.arr.2015.04.005
36. Alarcon-Ruiz CA, Pantoja-Torres B, Guarnizo-Poma M, et al. Vitamin B12 associated to total body fat in healthy non-obese

adults according to insulin resistance status. *Metabolism — Clinical and Experimental*. 2021;116:154–619. doi: 10.1016/j.metabol.2020.154619

37. Sela H, Karpas Z, Zoriy M, et al. Biomonitoring of hair samples by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry*. 2007;261(2-3):199–207. doi: 10.1016/j.ijms.2006.09.018

38. Ashraf W, Jaffar M. Concentrations of selected metals in scalp hair of an occupationally exposed population segment of Pakistan. *International Journal of Environmental Studies*. 1997;51(4):313–321. doi: 10.1080/00207239708711089

39. Palipudi K, Morton J, Hsia J, et al. Methodology of the global adult tobacco survey 2008-2010. *Glob Health Promot*. 2016;23 (2 Suppl):3–23. doi: 10.1177/1757975913499800

40. Rosstat. *Itogi Vyborochnogo nabljudenija sostojanija zdorov'ja naselenija v 2018 g*. Available from: https://rosstat.gov.ru/itog_inspect (In Russ).

41. Zhou YH, Guo Y, Wang F, et al. Association of sex hormones and fat distribution in men with different obese and metabolic statuses. *Int J Gen Med*. 2022;15:1225–1238. doi: 10.2147/IJGM.S351282

ОБ АВТОРАХ

***Аверьянова Инесса Владиславовна,** д.б.н., ведущий научный сотрудник;
адрес: Россия, 685000, Магадан, пр. Карла Маркса, 24;
ORCID https://orcid.org/0000-0002-4511-6782;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

Луговая Елена Александровна;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6583-4175;
eLibrary SPIN: 5825-7122;
e-mail: elena_plant@mail.ru

Сергей Игоревич Вдовенко;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4761-5144;
eLibrary SPIN: 5475-4644;
e-mail: vdovenko.sergei@yandex.ru

Юрий Владимирович Барбарук;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3429-7685;
eLibrary SPIN: 5574-4008;
e-mail: barbaruk@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Inessa V. Averyanova,** MD, Dr. Sci. (Biol.), leader research associate;
address: 24 Karla Marksa, 685000, Magadan, Russia;
ORCID https://orcid.org/0000-0002-4511-6782;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

Elena A. Lugovaya;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6583-4175;
eLibrary SPIN: 5825-7122;
e-mail: elena_plant@mail.ru

Sergei I. Vdovenko;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4761-5144;
eLibrary SPIN: 5475-4644;
e-mail: vdovenko.sergei@yandex.ru

Yuriy V. Barbaruk;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3429-7685;
eLibrary SPIN: 5574-4008;
e-mail: barbaruk@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco108708

Взаимосвязь биоэлементного статуса и изменения функционального состояния лёгких у пожарных МЧС России

М.А. Власенко, М.В. Санников, М.В. Яковлева, С.С. Алексанин

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Для пожарных характерно постоянное взаимодействие с дымом и различными продуктами горения, которые, попадая в организм, способны влиять на состояние органов дыхания.

Цель. Изучить взаимосвязь биоэлементного статуса с изменениями функционального состояния лёгких у пожарных МЧС России.

Методы. Проанализированы данные 97 человек из территориальных пожарных частей г. Санкт-Петербурга, непосредственно участвующих в пожаротушении. Проведено комплексное медицинское обследование, включая оценку биоэлементного статуса в пробах волос методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты. Выявлено повышение концентрации токсичных микроэлементов у пожарных по сравнению с лицами, не участвующими в пожаротушении. На фоне этого повышения происходило снижение концентрации жизненно необходимых элементов. Выявлена взаимосвязь между концентрацией токсичных микроэлементов и состоянием бронхолёгочной системы у пожарных. Показана связь концентрации алюминия, серебра и кадмия со снижением диффузионной способности лёгких, бронхообструктивными изменениями и фиброзом лёгких. Отмечено статистически значимое увеличение содержания серебра у пожарных с бронхообструктивными изменениями по сравнению с лицами, имеющими нормальные показатели бронхиальной проводимости.

Заключение. Проведённое исследование показало взаимосвязь накопления серебра, алюминия и кадмия с развитием изменений в функциональном состоянии лёгких.

Ключевые слова: пожарные; патология дыхательной системы; токсичные микроэлементы; кадмий; серебро; алюминий.

Как цитировать:
Власенко М.А., Санников М.В., Яковлева М.В., Алексанин С.С. Взаимосвязь биоэлементного статуса и изменения функционального состояния лёгких у пожарных МЧС России // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 55–64. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco108708

Рукопись получена: 13.06.2022 **Рукопись одобрена:** 13.12.2022 **Опубликована online:** 19.01.2023

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco108708

Relationship of bioelemental status and changes in the functional state of the lungs in EMERCOM firefighters of Russia

Marija A. Vlasenko, Maksim V. Sannikov, Marija V. Yakovleva, Sergej S. Aleksanin

Nikiforov's All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine (the Nikiforov's NRCERM), Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Firefighters are characterized by constant interaction with smoke and various combustion products, which, entering the body can, affect the state of the respiratory system.

AIM: To study the relationship of the bioelemental status with alterations in the functional state of the lungs in firefighters of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

METHODS: The work analyzed the data of 97 people from the territorial fire departments of the city of Saint Petersburg, directly involved in firefighting. The firefighters underwent a comprehensive medical examination, including an assessment of the bioelemental status in hair samples by inductively coupled plasma mass spectrometry.

RESULTS: As a result of the study, an increase in the content of toxic trace elements in firefighters was revealed in comparison with persons who did not participate in extinguishing the fire. Against the background of an increase in toxic trace elements, there was a decrease in vital ones. The relationship between the concentration of toxic trace elements and the state of the bronchopulmonary system in firefighters was revealed. The interrelation of the concentration of aluminum, silver and cadmium with a decrease in the diffusion capacity of the lungs, broncho obstructive changes and pulmonary fibrosis is shown. A significant increase in the content of silver was found in firefighters with broncho-obstructive changes compared to those with normal bronchial conduction.

CONCLUSION: The study illustrated the relationship between the levels of silver, aluminum, and cadmium and development of functional changes in the lungs..

Keywords: firefighters; pathology of the respiratory system; toxic trace elements; cadmium; silver; aluminum.

To cite this article:
Vlasenko MA, Sannikov MV, Yakovleva MV, Aleksanin SS. Relationship of bioelemental status and changes in the functional state of the lungs in EMERCOM fire fighters of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(1):55–64. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco108708

Received: 13.06.2022 **Accepted:** 13.12.2022 **Published online:** 19.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

В современной литературе много внимания уделяется вопросам влияния факторов окружающей среды и труда на жизнь и здоровье человека, в том числе в различных профессиональных группах, таких как спасатели и пожарные. Профессия пожарного занимает одно из первых мест по степени опасности и вредного воздействия на системы организма, эта работа связана с ликвидациями последствий аварий и осуществляется в сложных условиях, представляющих угрозу для жизни и здоровья, что предполагает повышенную физическую, психологическую нагрузку, а также воздействие физических и химических факторов. Актуальным является изучение последствий воздействия факторов пожара на организм профессиональных пожарных.

Для пожарных наиболее характерно воздействие компонентов дыма, которые обладают разной биологической активностью, в том числе принадлежат к высоким классам токсичности и опасности. Вредные продукты горения в виде дыма могут попадать в организм с вдыхаемым воздухом, что, как правило, приводит к нарушению барьерных функций органов и систем [1, 2]. В проведённом ранее исследовании [3] описано воздействие токсичных факторов пожара на лёгочную ткань, приводящее к снижению функции лёгких, развитию гиперчувствительности лёгочной ткани и появлению различных симптомов респираторных заболеваний. Исследования по оценке состояния здоровья лиц, участвующих в пожаротушении [2–5], показали, что болезни органов дыхания занимают одно из главных мест в структуре общей заболеваемости пожарных, а стаж работы по специальности коррелировал с ухудшением функции дыхания и увеличением рисков респираторных заболеваний уже через 4 года.

Одним из компонентов продуктов горения, с которыми встречаются пожарные в процессе своей деятельности, являются соединения токсичных металлов, к их числу относятся мышьяк, кадмий, никель, свинец. В организме человека эти микроэлементы могут способствовать усилению окислительного стресса, нарушению барьерных механизмов, что приводит к воспалению и нарушению функции тканей лёгких [2, 5] и проявляется клинически в виде обструктивной болезни лёгких и фиброза. В единичных исследованиях установлена взаимосвязь между увеличением концентрации кадмия, свинца в различных биологических средах и прогрессирующим ухудшением функции лёгких [5]. Кроме того, повышение содержания токсичных микроэлементов приводит к снижению и дисбалансу жизненно необходимых элементов, что оказывает влияние на развитие патологического процесса в органах дыхания.

В ранее проведённом исследовании [4] у сотрудников федеральной противопожарной службы государственной противопожарной службы МЧС России (ФПС ГПС МЧС России) были установлены особенности биоэлементного статуса по сравнению с лицами, не участвующими в пожаротушении, и выявлено лидирующее положение заболеваний органов дыхания в общей структуре заболеваемости сотрудников ФПС ГПС МЧС России. При этом данные по взаимосвязи особенностей биоэлементного статуса с заболеваниями органов дыхания у лиц, участвующих в пожаротушении, практически отсутствуют, что и обосновало необходимость нашего исследования.

Цель работы. Изучить взаимосвязь биоэлементного статуса с изменениями функционального состояния лёгких у сотрудников федеральной противопожарной службы государственной противопожарной службы МЧС России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовано 97 человек из территориальных пожарных частей г. Санкт-Петербурга, непосредственно участвующих в пожаротушении. Возраст обследованных пожарных составил от 18 до 45 лет (средний возраст — 31,4±0,7 года). Стаж работы по специальности — от 0,5 лет до 27 лет (средний стаж — 10,5±0,6 года). Обследованные пожарные были разделены на группы в зависимости от стажа работы: 1-я группа — 0–8 лет (средний стаж — 5,6±0,35 года, средний возраст — 26,8±0,6 года); 2-я группа — более 8 лет работы (средний стаж — 14,5±0,7 года, средний возраст — 34,6±0,9 года).

Для оценки влияния фактора курения группу пожарных также разделили на курящих (n=58) и некурящих (n=39).

Для оценки биоэлементного статуса сформирована группа сравнения (n=34). В неё вошли лица мужского пола, проживающие в Санкт-Петербурге, в возрасте от 19 до 30 лет, не участвующие в пожаротушении, не курящие и признанные практически здоровыми по результатам ежегодного медицинского осмотра.

На первом этапе проводили оценку состояния лёгких обследуемых и далее — элементный анализ волос.

Обследование выполнено на базе Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России в режиме дневного стационара. Диагнозы верифицированы специалистами клинических отделений по результатам типичных жалоб, комплексного обследования функции лёгких, а также рентгенологического и лабораторных исследований.

Для комплексного изучения функции лёгких методом бодиплетизмографии использовали бодиплетизмограф MasterScreen Body (ERICH JAEGER, Германия). Этот прибор с устройством для изучения диффузионной способности лёгких позволяет анализировать всю механику дыхания во время одного измерения. Программа включает в себя методику измерения дыхательного сопротивления методом общей плетизмографии, методику измерения внутригрудного объёма, методику спокойной и форсированной спирометрии. На основе этих методик оценивали общую ёмкость лёгких и её структуру, воздухонаполняемость лёгких, бронхиальное сопротивление вдоха и выдоха, нарушение проходимости дыхательных путей. Границы нормы и градации отклонения от нормы показателей дыхания оценивали по общепринятым методикам. Использование блока для оценки диффузионной способности лёгких позволяло оценить диффузионную способность лёгких при задержке дыхания — DLCO SB (ммоль/мин/кПа), удельное значение при перерасчёте на единицу альвеолярного объёма — DLCO/VA (ммоль/мин/кПа/л), диффузионную способность лёгких во время задержки дыхания при коррекции по гемоглобину (DLCOc SB) и удельное значение при коррекции по гемоглобину (DLCOc/VA), объём альвеолярной вентиляции (L). Границами нормы считали показатели более 81% от должного. Снижение диффузионной способности оценивали по трём градациям: умеренное (81–61% от должного), значительное (60–51% от должного), резкое (менее 51% от должного).

Оценку биоэлементного статуса проводили в научно-исследовательской лаборатории элементного анализа Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на квадрупольном масс-спектрометре Agilent Technologies 7900 ICP-MS (Agilent Technologies, США) в пробах волос. В каждом образце проанализирован спектр из 35 элементов: 18 жизненно необходимых (B, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Mg, Mn, Mo, Na, P, Se, V, Zn, Si, Ge) и 17 токсичных (Ti, Sb, Al, As, Ba, Be, Cd, Cs, Hg, Ni, Pb, Rb, Sr, Tl, Sn, Li, Ag). В качестве референсных интервалов (норма) использовали совокупность результатов анализа международных норм и интервалов для элементов у взрослого населения, полученных в научно-исследовательской лаборатории элементного анализа Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программных пакетов Microsoft Excel XP (Microsoft Corp., США) и Statistica 13.0 (StatSoft Inc., США). Распределение данных было неравномерным, поэтому в качестве описательных характеристик использовали медиану, нижний и верхний квартили. Для сравнения двух независимых выборок применяли U-критерий Манна–Уитни и *p*-значение. Для определения статистических взаимосвязей между переменными элементного анализа и показателями состояния лёгких использовали корреляционный анализ с применением коэффициента ранговой корреляции по Спирмену.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У обследованных сотрудников ФПС ГПС МЧС России при изучении элементного статуса в пробах волос выявлено повышенное содержание ряда токсичных элементов: у 15% обследованных — алюминия, у 20% — кадмия, у 12% — серебра; кроме того, у 5% пожарных обнаружено повышенное содержание свинца, никеля и мышьяка (рис. 1).

На фоне увеличения концентрации токсичных элементов наблюдали сниженное содержание жизненно необходимых: у 67% пожарных — дефицит йода, у 85% — кобальта, у 35% — магния, у 36% — кальция, у 40% — селена и у 25% — цинка (рис. 2), что соотносится с ранее проведёнными исследованиями и характерно для сотрудников ФПС ГПС МЧС России [6, 7].

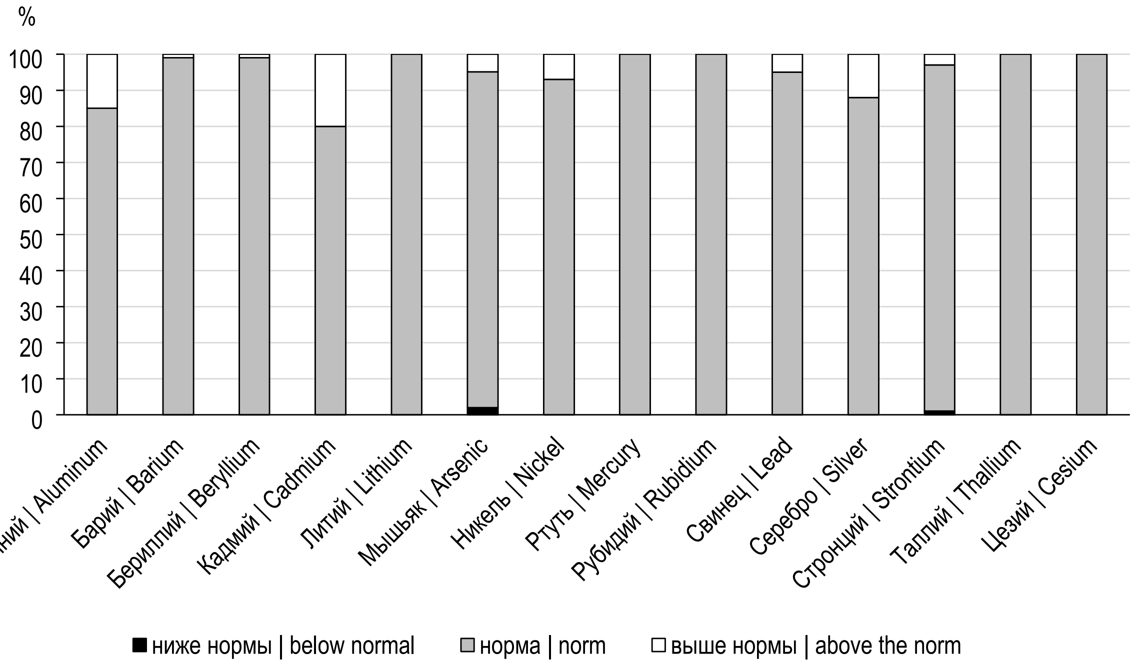


Рис. 1. Доля обследованных пожарных со сниженными, нормальными и повышенными значениями токсичных элементов.
Fig. 1. The proportion of surveyed firefighters with reduced, nominal and increased concentrations of toxic elements.

Тенденция к накоплению токсичных элементов у пожарных хорошо прослеживается при сравнении с группой контроля (табл. 1). У пожарных по сравнению с группой лиц, не участвующих в пожаротушении, отмечено увеличение в пробах волос концентрации алюминия в 4,6 раза (Мес=3,49 мкг/г; Меп=18,5 мкг/г; U=42; p=0,001), концентрации кадмия — в 8,0 раза (Мес=0,08 мкг/г; Меп=0,01 мкг/г; U=311; p=0,001), свинца — в 5,6 раза (Мес=1,42 мкг/г; Меп=0,25 мкг/г; U=497,5; p=0,0001), серебра — в 2,3 раза (Мес=0,14 мкг/г; Меп=0,06 мкг/г; U=406,5; p=0,001). Здесь: Мес — медиана группы сравнения, Меп — медиана пожарных.

При анализе взаимосвязи концентрации токсичных биоэлементов со стажем работы по специальности у обследованных сотрудников ФПС ГПС МЧС России различий не выявлено.

В группе курящих пожарных выявлено существенное (в 1,5 раза) повышение концентрации алюминия по сравнению с некурящими (17,06 и 11,0 мкг/г соответственно, p <0,05), а также концентрации серебра почти в 2 раза (0,09 и 0,05 мкг/г соответственно, p <0,05), кроме того, в группе курящих имеется тенденция к накоплению кадмия по сравнению с некурящими пожарными (0,11 и 0,16 мкг/г соответственно, p=0,19).

По результатам оценки состояния бронхолёгочной системы всех обследуемых пожарных разделили на три группы: с нормальной и сниженной диффузионной способностью лёгких; с наличием (фиброз, пневмофиброз и др.) и отсутствием изменений в лёгких по результатам рентгенологических исследований; с наличием или отсутствием бронхиальной обструкции (рис. 3–5). В каждой группе проанализированы показатели биоэлементного

Таблица 1. Уровень токсичных элементов в пробах волос у пожарных (n=97) и в группе сравнения (n=34), мкг/г, Me [25; 75]

Table 1. The level of toxic elements in hair samples of firefighters (n=97) and in the comparison group (n=34), mkg/g, Me [25; 75]

Элемент Element	Пожарные Firefighters	Группа сравнения Comparison group
Al*	18,50 [7,58; 28,90]	3,49 [0,98; 6,65]
Ba	1,18 [0,46; 2,47]	1,5 [0,08; 4,73]
Be	0	0
Li	0,01 [0; 0,04]	0
Cd*	0,08 [0,04; 0,15]	0,01 [0,01; 0,02]
As	0,10 [0,02; 0,15]	0,06 [0,08; 0,3]
Ni	0,58 [0,37; 1,12]	0,71 [0,25; 3,21]
Sn	0,91 [0,12; 2,49]	0,42 [0,05; 0,65]
Hg	0,04 [0,01; 0,16]	0,08 [0,06; 0,11]
Rb	0,13 [0,08; 0,26]	0,02 [0,03; 0,07]
Pb*	1,42 [0,68; 3,12]	0,25 [0,10; 0,57]
Ag*	0,14 [0,04; 0,20]	0,06 [0,03; 0,10]
Sr	0,92 [0,51; 1,78]	0,75 [0,37; 1,03]
Sb	0,01 [0; 0,03]	0
Tl	0	0
Ti	0,216 [0,051; 2,621]	0,089 [0,048; 0,213]
Cs	0	0

* различия между группами статистически значимы, p <0,05.
* differences between groups are statistically significant, p <0,05.

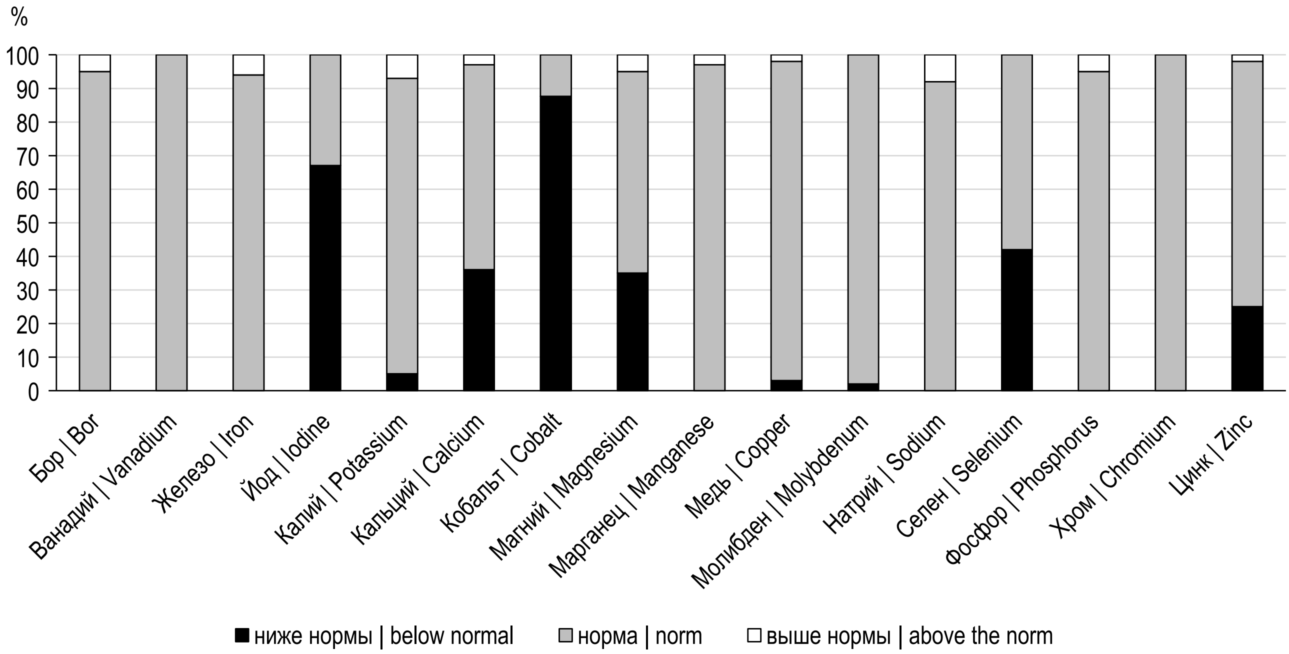


Рис. 2. Доля обследованных пожарных со сниженными, нормальными и повышенными значениями жизненно необходимых элементов, %.
Fig. 2. The proportion of surveyed firefighters with reduced, normal and increased values of vital elements, %.

статуса. Не выявлено отличий по концентрации токсичных микроэлементов в пробах волос у пожарных с нормальной и сниженной диффузионной способностью лёгких. В группе с наличием рентгенологических изменений в лёгких отмечено повышение концентрации кадмия, однако это отличие не было статистически значимым (концентрации 0,12 и 0,17 мкг/г соответственно; p=0,07; U=568,5). Наблюдалось статистически значимое увеличение концентрации

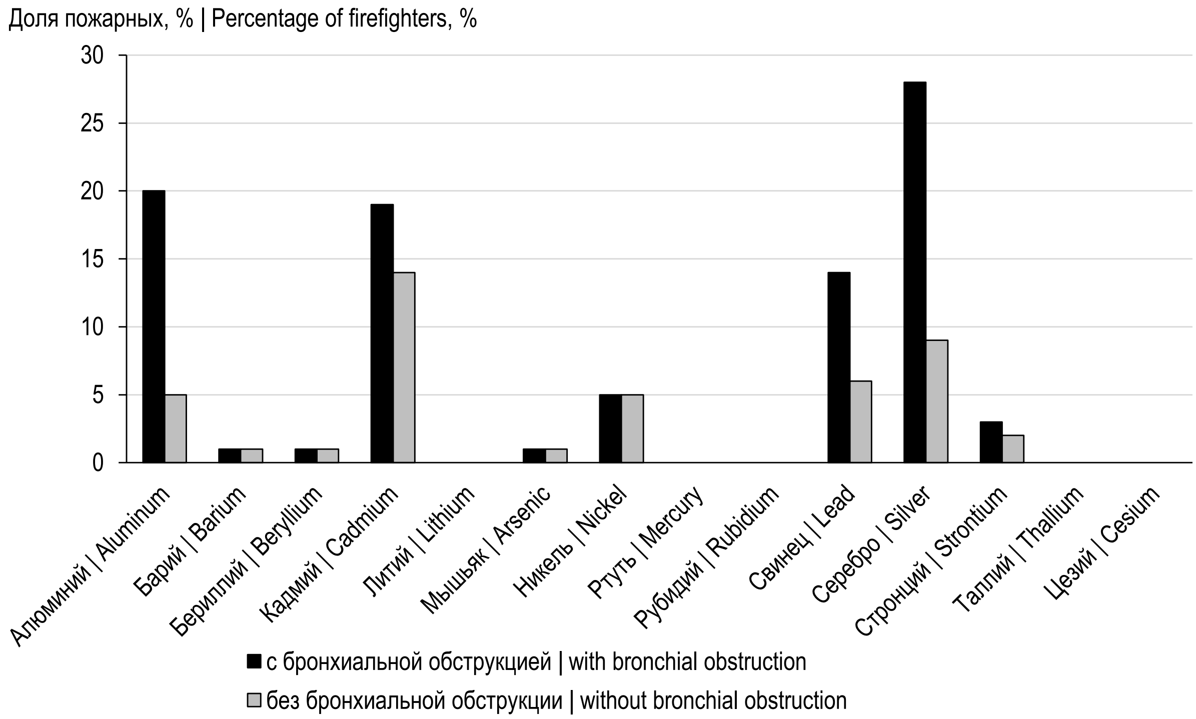


Рис. 3. Доля пожарных с повышенным содержанием токсичных микроэлементов в пробах волос среди лиц с наличием или отсутствием бронхиальной обструкции, %.
Fig. 3. The proportion of firefighters with an increased content of toxic trace elements in hair samples among persons with or without bronchial obstruction, %.

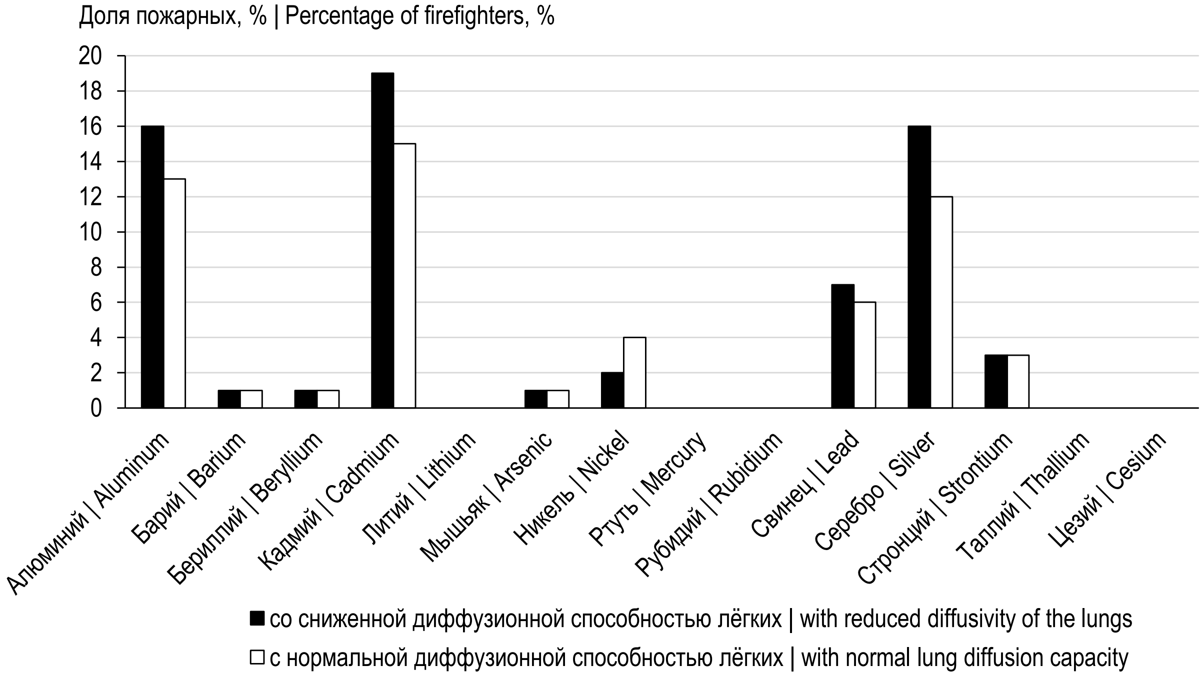


Рис. 4. Доля пожарных с повышенным содержанием токсичных микроэлементов в пробах волос среди лиц со сниженной и нормальной диффузионной способностью лёгких, %.
Fig. 4. The proportion of firefighters with an increased toxic trace elements concentration in hair samples among persons with reduced and normal lung diffusion capacity, %.

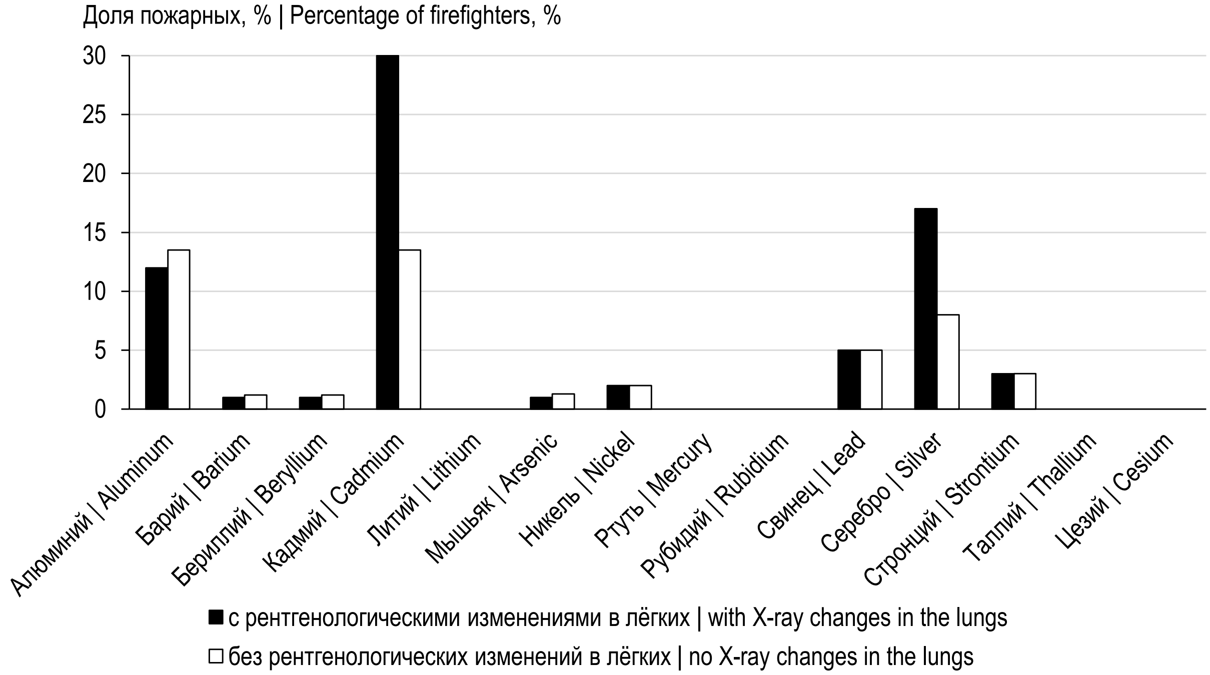


Рис. 5. Доля пожарных с повышенным содержанием токсичных микроэлементов в пробах волос среди лиц с наличием и отсутствием рентгенологических изменений в лёгких, %.
Fig. 5. The proportion of firefighters with an increased toxic trace elements concentration in hair samples among persons with the presence and absence of radiological changes in the lungs, %.

серебра у пожарных с бронхообструктивными изменениями по сравнению с лицами, имеющими нормальные показатели бронхиальной проводимости (0,20 и 0,06 мкг/г соответственно; p=0,017; U=489,5).

Анализ полученных данных показал, что в группе пожарных с бронхиальной обструкцией у 20% лиц отмечено повышение концентрации в волосах алюминия, у 18% — кадмия, у 28% — серебра, у 14% — свинца. В группе без бронхиальной обструкции доля пожарных с повышенным содержанием токсичных элементов была значительно ниже: по алюминию — в 4 раза (5%), по свинцу — в 2 раза (6%), по серебру — в 4 раза (7%), по кадмию — в 1,3 раза (14%) (см. рис. 3).

В группе пожарных со сниженной диффузионной способностью лёгких в 1,3 раза чаще выявлено превышение концентрации алюминия, кадмия, серебра, свинца, чем среди пожарных с нормальной диффузионной способностью лёгких (см. рис. 4).

Среди пожарных, у которых обнаружены рентгенологические изменения в лёгких (фиброз, пневмофиброз), доля лиц с повышенным содержанием кадмия в волосах составила 30%, с повышенным содержанием серебра — 17%, что в 2,5 раза выше по сравнению с группой пожарных без выявленных рентгенологических изменений (см. рис. 5).

Таким образом, среди пожарных, у которых были выявлены изменения в бронхолёгочной системе, отмечено статистически значимое увеличение доли лиц с повышенным содержанием ряда токсичных микроэлементов (алюминий, серебро, свинец и кадмий) по сравнению с пожарными без выявленной патологии, что ещё раз подтверждает влияние этих элементов на патологический процесс.

ОБСУЖДЕНИЕ

В данном исследовании показано, что у пожарных МЧС России происходит накопление токсических элементов и снижение содержания жизненно необходимых элементов [6, 7].

При оценке взаимосвязи раннего поражения лёгких и биоэлементного статуса наиболее значимыми элементами оказались серебро, кадмий, алюминий. Данные элементы, попадая в организм в составе компонентов дыма через вдох, способны вызывать деструктивные изменения. Как было показано ранее [8, 9], воздействие токсичных металлов может способствовать усилению окислительного стресса и воспалению в эпителии лёгких, что приводит к разрушению тканей и клинически может проявляться бронхообструктивными изменениями и фиброзом.

В нашем исследовании показана тенденция к накоплению кадмия в группе пожарных с фиброзными изменениями в лёгких, и это соотносится с литературными данными, описывающими механизм поражения лёгких. Имеются единичные работы, проведённые на людях, в которых показано повышение концентрации кадмия в различных биопробах у лиц с хронической обструкцией лёгких [10]. Механизм развития фиброза лёгких изучен на клеточных культурах, где показано, что длительное воздействие кадмия в малых концентрациях индуцирует дифференцировку миофибробластов за счёт нарушения регуляции актинового цитоскелета и активизации окислительно-восстановительных процессов, и это приводит к повышению жёсткости цитоскелета и формированию соединительно-тканных волокон [2, 5, 11, 12].

В группе пожарных с бронхиальной обструкцией выявлено статистически значимое повышение концентрации серебра. Как показал анализ литературных данных, действие ионов серебра на формирование патологии в лёгких изучено недостаточно. В единичных работах на лабораторных моделях животных показано, что серебро способно вызывать как минимальные воспалительные процессы, так и серьёзные деструктивные нарушения, приводящие к функциональным и структурным имениям в лёгких [13, 14]. Так, в работе W. Ma и соавт. [15] описано, что длительное воздействие частицами серебра приводило к увеличению толщины альвеолярных перегородок, уменьшению альвеол, разрыву альвеолярных оболочек и инфильтрации воспалительных клеток в лёгкие. Основными механизмами, инициирующими воспалительный процесс, как и в случае с другими металлами, служат окислительный стресс и увеличение количества воспалительных цитокинов (интерлейкинов IL-1β, IL-6 и фактора некроза опухоли α) [15–17]. Данные о корреляции содержания серебра в биологических субстратах человека с болезнями дыхательной системы отсутствуют.

Помимо профессионального фактора, влияющего на формирование патологии лёгких у пожарных, существует ещё и фактор курения. Нами показано статистически значимое повышение содержания серебра и алюминия в группе курящих. На сегодняшний день имеются данные, что в состав табачных изделий входят соли алюминия [16].

Наше исследование подтверждает патологическое воздействие алюминия. Ранее было показано, что соединения алюминия оказывают патологическое воздействие на многие системы организма. При вдыхании табачного дыма ионы алюминия оседают на слизистой оболочке органов дыхания. Одним из механизмов является воздействие на активацию свободнорадикального окисления липидов и ингибирование процесса восстановления окисленного глутатиона, что усиливает воспалительный процесс. В единичных исследованиях описано влияние соединений алюминия на развитие фиброзного процесса в лёгких [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведённом исследовании установлено повышение концентрации токсичных элементов и их взаимосвязи с ранними поражениями лёгких пожарных. Выявленное повышение концентрации серебра у пожарных хорошо соотносится с описывающими механизм воспаления литературными данными, полученными на лабораторных моделях. Можно предположить, что у людей механизм развития бронхолёгочных заболеваний будет похожим. Алюминий и кадмий также участвуют в развитии воспалительного процесса и влияют на образование фиброза лёгочной ткани.

Для предотвращения развития патологических процессов необходимо рекомендовать работникам МЧС, участвующим в тушении пожаров, восполнять содержание жизненно необходимых элементов, таких как цинк, селен и кальций, являющихся антагонистами кадмия, алюминия и серебра.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов: М.А. Власенко — дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, подготовка первичного варианта статьи; М.В. Санников — концепция и дизайн исследования, редактирование статьи; М.В. Яковлева — получение данных, аналитическое обобщение материала; С.С. Алексанин — редактирование статьи, утверждение присланной в редакцию рукописи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Authors' contribution: M.A. Vlasenko — research design, data analysis and interpretation, preparation of the primary version of the article; M.V. Sannikov — concept and design of the study, editing of the article; M.V. Yakovleva — data acquisition, analytical generalization of the material; S.S. Aleksanin — editing of the article, approval of the manuscript sent to the editorial office. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Финансирование. Исследование и подготовка публикации проведены на личные средства авторского коллектива.

Funding sources. Study and publication prepared without external funding.

Конфликт интересов. Конфликта интересов нет.

Competing interests. There is no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Engelsman M., Toms L.M.L., Banks A., et al. Biomonitoring in firefighters for volatile organic compounds, semivolatile organic compounds, persistent organic pollutants, and metals: a systematic review // Environ Res. 2020. Vol. 188. P. 109562. doi: 10.1016/j.envres.2020.109562
2. Hu X., Chandler J.D., Park S., et al. Low-dose cadmium disrupts mitochondrial citric acid cycle and lipid metabolism in mouse lung // Free Radic Biol Med. 2019. Vol. 131. P. 209–217. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.12.005

3. Jing Y., Liu L.Z., Jiang Y., et al. Cadmium increases HIF-1 and VEGF expression through ROS, ERK, and AKT signaling pathways and induces malignant transformation of human bronchial epithelial cells // Toxicol Sci. 2012. Vol. 125, N 1. P. 10–19. doi: 10.1093/toxsci/kfr256
4. Санников М.В., Алексанин С.С. Эпидемиологический анализ результатов углубленных медицинских осмотров профессиональных спасателей МЧС России // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2009. № 4. С. 5–9.
5. Kimura K., Nakano Y., Sugizaki T., et al. Protective effect of polaprezinc on cadmium-induced injury of lung epithelium // Metallomics. 2019. Vol. 11, N 7. P. 1310–1320. doi: 10.1039/c9mt00060g
6. Власенко М.А. Элементный статус, показатели свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы у сотрудников Федеральной противопожарной службы МЧС России: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2012. 24 с. Режим доступа: https://www.dissercat.com/content/elementnyi-status-pokazateli-svobodnoradikalnogo-okisleniya-i-antioksidantnoi-sistemy-u-sotr
7. Шантырь И.И., Яковлева М.В., Власенко М.А., и др. Изменения биоэлементного статуса пожарных северо-западного региона // Медицина труда и промышленная экология. 2018. № 4. С. 33–37.
8. Cheng X., Zhou Y.C., Zhou B., et al. Systematic analysis of concentrations of 52 elements in tumor and counterpart normal tissues of patients with non-small cell lung cancer // Cancer Med. 2019. Vol. 8, N 18. P. 7720–7727. doi: 10.1002/cam4.2629
9. Go Y.M., Orr M., Jones D.P. Actin cytoskeleton redox proteome oxidation by cadmium // Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol. 2013. Vol. 350, N 11. P. L831–L843. doi: 10.1152/ajplung.00203.2013
10. Hu X., Fernandes J., Jones D.P., Go Y.M. Cadmium stimulates myofibroblast differentiation and mouse lung fibrosis // Toxicology. 2017. Vol. 383. P. 50–56. doi: 10.1016/j.tox.2017.03.018
11. Li F.J., Surolia R., Li H., et al. Low-dose cadmium exposure induces peribronchiolar fibrosis through site-specific phosphorylation of vimentin // Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol. 2017. Vol. 313, N 1. P. L80–L91. doi: 10.1152/ajplung.00087.2017
12. Tao C., Pei Y., Zhang L., Zhang Y. Microbial communities respond to microenvironments in lungs of mice under simulated exposure to cadmium aerosols // Sci Total Environ. 2020. Vol. 710. P. 136300. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136300
13. Assad N., Sood A., Campen M.J., Zychowski K.E. Metals-induced pulmonary fibrosis // Curr Environ Health Rep. 2018. Vol. 5, N 4. P. 486–498. doi: 10.1007/s40572-018-0219-7
14. Braakhuis H.M., Cassee F.R., Fokkens P.H., et al. Identification of the appropriate dose metric for pulmonary inflammation of silver nanoparticles in an inhalation toxicity study // Nanotoxicology. 2016. Vol. 10, N 1. P. 63–73. doi: 10.3109/17435390.2015.1012184
15. Ma W., He S., Ma H., et al. Silver nanoparticle exposure causes pulmonary structural damage and mitochondrial dynamic imbalance in the rat: protective effects of sodium selenite // Int J Nanomedicine. 2020. Vol. 15. P. 633–645. doi: 10.2147/IJN.S232986
16. Cao D.J., Aldy K., Hsu S., et al. Review of health consequences of electronic cigarettes and the outbreak of electronic cigarette or vaping product use-associated lung injury // J Med Toxicol. 2020. Vol. 16, N 3. P. 295–310. doi: 10.1007/s13181-020-00772-w
17. Guo C., Buckley A., Marczylo T., et al. The small airway epithelium as a target for the adverse pulmonary effects of silver nanoparticle inhalation // Nanotoxicology. 2018. Vol. 12, N 6. P. 539–553. doi: 10.1080/17435390.2018.1465140
18. Feng W., Huang X., Zhang C., et al. The dose–response association of urinary metals with altered pulmonary function and risks of restrictive and obstructive lung diseases: a population-based study in China // BMJ Open. 2015. Vol. 5, N 5. P. e007643. doi: 10.1136/bmjopen-2015-007643

REFERENCES

1. Engelsman M, Toms LML, Banks A, et al. Biomonitoring in firefighters for volatile organic compounds, semivolatile organic compounds, persistent organic pollutants, and metals: a systematic review. *Environ Res*. 2020;188:109562. doi: 10.1016/j.envres.2020.109562
2. Hu X, Chandler JD, Park S, et al. Low-dose cadmium disrupts mitochondrial citric acid cycle and lipid metabolism in mouse lung. *Free Radic Biol Med*. 2019;131:209–217. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2018.12.005
3. Jing Y, Liu LZ, Jiang Y, et al. Cadmium increases HIF-1 and VEGF expression through ROS, ERK, and AKT signaling pathways and induces malignant transformation of human bronchial epithelial cells. *Toxicol Sci*. 2012;125(1):10–19. doi: 10.1093/toxsci/kfr256
4. Sannikov MV, Aleksanin SS. Epidemiological analysis of results of in-depth medical examinations of professional rescuers of the EMERCOM of Russia. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2009;(4):5–9. (In Russ).
5. Kimura K, Nakano Y, Sugizaki T, et al. Protective effect of polaprezinc on cadmium-induced injury of lung epithelium. *Metallomics*. 2019;11(7):1310–1320. doi: 10.1039/c9mt00060g
6. Vlasenko MA. *Elementnyi status, pokazateli svobodnoradikal'nogo okisleniya i antioksidantnoi sistemy u sotrudnikov Federal'noi protivopozharnoi sluzhby MChS Rossii* [dissertation]. Saint Petersburg, 2012. 24 p. Available from: https://www.dissercat.com/content/elementnyi-status-pokazateli-svobodnoradikalnogo-okisleniya-i-antioksidantnoi-sistemy-u-sotr (In Russ).
7. Shantyr II, Yakovleva MV, Vlasenko MA, et al. Changes in the bioelemental state of firemen of the north-west region. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2018;(4):33–37. (In Russ).
8. Cheng X, Zhou YC, Zhou B, et al. Systematic analysis of concentrations of 52 elements in tumor and counterpart normal tissues of patients with nonsmall cell lung cancer. *Cancer Med*. 2019;8(18):7720–7727. doi: 10.1002/cam4.2629

9. Go YM, Orr M, Jones DP. Actin cytoskeleton redox proteome oxidation by cadmium. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2013;350(11):L831–L843. doi: 10.1152/ajplung.00203.2013

10. Hu X, Fernandes J, Jones DP, Go YM. Cadmium stimulates myofibroblast differentiation and mouse lung fibrosis. *Toxicology*. 2017;383:50–56. doi: 10.1016/j.tox.2017.03.018

11. Li FJ, Surolia R, Li H, et al. Low-dose cadmium exposure induces peribronchiolar fibrosis through site-specific phosphorylation of vimentin. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2017;313(1):L80–L91. doi: 10.1152/ajplung.00087.2017

12. Tao C, Pei Y, Zhang L, Zhang Y. Microbial communities respond to microenvironments in lungs of mice under simulated exposure to cadmium aerosols. *Sci Total Environ*. 2020;710:136300. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.136300

13. Assad N, Sood A, Campen MJ, Zychowski KE. Metals-induced pulmonary fibrosis. *Curr Environ Health Rep*. 2018;5(4):486–498. doi: 10.1007/s40572-018-0219-7

14. Braakhuis HM, Cassee FR, Fokkens PH, et al. Identification of the appropriate dose metric for pulmonary inflammation of silver nanoparticles in an inhalation toxicity study. *Nanotoxicology*. 2016;10(1):63–73. doi: 10.3109/17435390.2015.1012184

15. Ma W, He S, Ma H, et al. Silver nanoparticle exposure causes pulmonary structural damage and mitochondrial dynamic imbalance in the rat: protective effects of sodium selenite. *Int J Nanomedicine*. 2020;15:633–645. doi: 10.2147/IJN.S232986

16. Cao DJ, Aldy K, Hsu S, et al. Review of health consequences of electronic cigarettes and the outbreak of electronic cigarette or vaping product use-associated lung injury. *J Med Toxicol*. 2020;16(3):295–310. doi: 10.1007/s13181-020-00772-w

17. Guo C, Buckley A, Marczylo T, et al. The small airway epithelium as a target for the adverse pulmonary effects of silver nanoparticle inhalation. *Nanotoxicology*. 2018;12(6):539–553. doi: 10.1080/17435390.2018.1465140

18. Feng W, Huang X, Zhang C, et al. The dose–response association of urinary metals with altered pulmonary function and risks of restrictive and obstructive lung diseases: a population-based study in China. *BMJ Open*. 2015;5(5):e007643. doi: 10.1136/bmjopen-2015-007643

ОБ АВТОРАХ

***Власенко Мария Александровна,** к.б.н.,
старший научный сотрудник;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург,
ул. Академика Лебедева, 4/2;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2836-6891;
eLibrary SPIN: 6649-9224;
e-mail: vlasenkomaria@gmail.com

Санников Максим Валерьевич, к.м.н.,
ведущий научный сотрудник;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3969-9501;
eLibrary SPIN: 3663-4650;
e-mail:smakv@mail.ru

Яковлева Мария Владимировна, к.б.н.,
ведущий научный сотрудник;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9709-8299;
eLibrary SPIN: 3229-4912;
e-mail: iakorobok@mail.ru

Алексанин Сергей Сергеевич, д.м.н., профессор,
член-корреспондент РАН;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6998-1669;
eLibrary SPIN: 1256-5967;
e-mail: medicine@nrcerm.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

***Marija A. Vlasenko,** MD, Cand. Sci. (Biol.),
senior research associate;
address: 4/2 Akademika Lebedeva street, 194044,
Saint Petersburg, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2836-6891;
eLibrary SPIN: 6649-9224;
e-mail: vlasenkomaria@gmail.com

Maksim V. Sannikov, MD, Cand. Sci. (Med.),
leader research associate;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3969-9501;
eLibrary SPIN: 3663-4650;
e-mail: smakv@mail.ru

Marija V. Yakovleva, MD, Cand. Sci. (Biol.),
leader research associate;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9709-8299;
eLibrary SPIN: 3229-4912;
e-mail: iakorobok@mail.ru

Sergej S. Aleksanin, MD, Dr. Sci. (Med.), professor,
associate member of the Russian Academy of Sciences;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6998-1669;
eLibrary SPIN: 1256-5967;
e-mail: medicine@nrcerm.ru

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco111767

Изменения комплексных биоклиматических показателей в Крыму с середины XX века

А.А. Стефанович[1, 2], Е.Н. Воскресенская[1, 2]

[1] Институт природно-технических систем, Севастополь, Российская Федерация;
[2] Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Наблюдаемые глобальные климатические изменения могут существенно воздействовать на региональный климат и изменять рекреационные возможности территории Крымского полуострова.

Цель. Изучить особенности изменения комплексных биоклиматических показателей на территории Крыма за многолетний период (около 70 лет), уделяя отдельное внимание каждому месяцу года, и на основе полученных результатов показать возможное влияние этих изменений на развитие рекреационной деятельности.

Методы. Для расчётов использовали ежедневные гидрометеорологические данные для каждого месяца по 22 метеостанциям Крыма из архива наблюдений европейских метеостанций E-OBS (v. 17.0) и реанализа NCEP/NCAR R1 за период 1950–2018 гг. Полученные массивы верифицированы на основе открытой базы стандартных ежесуточных станционных наблюдений Крыма за 2005–2018 гг. Для оценки влияния климатических изменений на организм человека рассчитывали эквивалентно-эффективную температуру, нормальную эквивалентно-эффективную температуру, весовое содержание кислорода в воздухе — парциальную плотность кислорода (ρO_2), индекс влажного ветрового охлаждения Хилла (Hw) и индекс сухого ветрового охлаждения Бодмана (S). Изучены особенности их линейных трендов для каждого месяца и сделан сравнительный анализ для местностей Крымского полуострова.

Результаты. При анализе трендов биоклиматических показателей по месяцам отмечены тенденции к повышению или понижению рекреационной комфортности в определённые сезоны. Наиболее выражены положительные тренды для нормальной эквивалентно-эффективной температуры по всей территории Крыма в зимне-весенний период, что обеспечивает улучшение комплексных рекреационных условий последних десятилетий и возможности расширения продолжительности курортного сезона. Противоположные тенденции имеют индексы pO_2, H_w и S в течение всего года (за исключением декабря). Согласно индексу pO_2, в период с августа по октябрь на всей территории Крыма может ощущаться физиологический дефицит кислорода. Тенденции усиления ветреных дискомфортных биоклиматических условий в степной части Крыма проявляются в декабре.

Заключение. Выявленные закономерности изменений биоклиматических показателей могут выступать регулирующим фактором для организации и проведения различных видов рекреационных мероприятий на территории Крыма и таким образом обеспечивать продолжительность рекреационного периода.

Ключевые слова: тренд; биоклиматический индекс; комфортность климатических условий; здоровье населения; Крымский полуостров.

Как цитировать:
Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н. Изменения комплексных биоклиматических показателей в Крыму с середины XX века // Экология человека. 2023. Т. 30, № 1. С. 65–77. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco111767

Рукопись получена: 07.10.2022 **Рукопись одобрена:** 09.01.2023 **Опубликована online:** 23.01.2023

DOI: https://doi.org/10.17816/humeco111767

Changes in complex bioclimatic indicators in Crimea since the middle of the 20th century

Anna A. Stefanovich[1, 2], Elena N. Voskresenskaya[1, 2]

[1] Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russian Federation;
[2] Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Observed global climate changes can significantly influence on the regional climate anomalies and recreational conditions over the Crimean peninsula.

AIM: To study the features of complex bioclimatic indicators changes on the territory of Crimea over a multidecadal period (~70 years), paying special attention to each month of the year, and on bases of obtained results to show the possible way of recreational activities development associated with these changes.

METHODS: For calculations, we used daily hydrometeorological data for each month from the archive of observations at the network of European weather stations E-OBS (v. 17.0) from 22 stations and NCEP/NCAR R1 reanalysis for the period of 1950–2018. The obtained arrays were verified in accordance with an open database of standard daily station observations in Crimea in 2005–2018. To assess the impact of climate change on the human body, the equivalent effective temperature, normal equivalent effective temperature, weight content of oxygen in the air (partial oxygen density) (ρO_2), wet wind chill index Hill (Hw) and index Bodmann dry wind chiller (S) were calculated. The features of their linear trends for each month in the Crimean Peninsula were analysed.

RESULTS: Monthwise analyses of the bioclimatic indicator trends demonstrated an increase or decrease in recreational comfort in certain seasons. The most pronounced positive normal equivalent effective temperature trends over Crimea were observed from winter to spring. This indicated improved complex recreational conditions in recent decades and the possibility to extend the duration of the holiday season. The pO_2, Hw and S indices had opposite tendencies throughout the year (except for December). According to the pO_2 index, in the period from August to October, a physiological oxygen deficiency may be experienced throughout Crimea. Windy and uncomfortable bioclimatic conditions tend to increase in the steppes of Crimea in December.

CONCLUSION: The patterns of changes in bioclimatic indicators revealed through this study can be used as a regulatory factor for effectively organising and conducting recreational activities in the territory of Crimea and thus ensure the duration of the recreational period.

Keywords: trend; bioclimatic index; comfort of climatic conditions; human health; Crimean peninsula.

To cite this article:
Stefanovich AA, Voskresenskaya EN. Changes in complex bioclimatic indicators in Crimea since the middle of the 20th century. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2023;30(1):65–77. DOI: https://doi.org/10.17816/humeco111767

Received: 07.10.2022 **Accepted:** 09.01.2023 **Published online:** 23.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

В последние несколько десятилетий имеет место увеличение масштабов и темпов изменения климатических характеристик, неоднородность распределения сезонных аномалий во времени и пространстве, выраженная контрастность погоды. Многие исследователи отмечают потепление климата и на территории России [1–3]. Анализ данных многолетних наблюдений выявил некоторые особенности в Карелии [4], в Северо-Западном регионе России [5], в Азиатско-Тихоокеанском регионе [6–9]. Однако на фоне роста глобально-осреднённой температуры может наблюдаться и её снижение в отдельных регионах [10, 11]. Что касается Черноморского региона, незначительное повышение температуры отмечается с 1970-х гг. XX в. [12, 13].

Территория Крымского полуострова, несмотря на его относительно небольшие размеры, обладает разнообразием природно-климатических условий, что благоприятствует развитию рекреационной деятельности и климатотерапии. Для количественной оценки рекреационной способности территорий анализируют воздействие на человека комплекса гидрометеорологических параметров. При этом в качестве интегральной оценки воздействия обычно пользуются биоклиматическими индексами, разработанными разными авторами.

В России для оценки уровня биоклиматической комфортности в работах используют наиболее универсальные и доступные для разных регионов страны биометеорологические индексы: эффективная температура (ЭТ), эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), радиационная эффективно-эквивалентная температура (РЭЭТ), индекс дискомфорта (индекс ID), индекс суровости (S), индекс изменчивости класса погоды момента (K), весовое содержание кислорода в воздухе (pO_2) [14]. Часто также встречаются такие показатели, как сальдо теплового баланса тела человека (Qs); индекс патогенности погоды (I); комплексный показатель, определяющий тип и класс погоды момента (ТР). Все они считаются информативными и активно применяются для комплексной оценки влияния погоды на здоровье.

Стоит отметить, что в основном работы по оценке рекреационных условий Крымского полуострова проводились для его приморских территорий. Есть отдельные исследования, посвящённые изменениям гидрометеопараметров на территории Крыма [15, 16], но оценок комплексных характеристик рекреационных условий, их динамики для приморских и других местностей Крымского полуострова за продолжительный период (более чем 50 лет) для каждого месяца года не проводилось.

Цель исследования. Изучить особенности изменения комплексных биоклиматических показателей на территории Крыма за многолетний период (около 70 лет), уделяя отдельное внимание каждому месяцу года, и на основе полученных результатов показать возможное влияние этих изменений на развитие рекреационной деятельности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Доступные в настоящее время ежесуточные массивы станционных данных метеонаблюдений, которые необходимы для расчёта биоклиматических индексов, имеют многочисленные пропуски, а качественные ряды данных для большинства этих параметров начинаются лишь с 2005 года. В этой связи в работе применяли данные реанализа. Для расчёта использовали ежесуточные данные приземного реанализа NCEP/NCAR R1 с пространственным разрешением 2,5×2,5 за период 1950–2018 гг. и реконструированные данные наблюдений европейских метеостанций E-OBS (v. 17.0), приуроченные к узлам пространственной сетки 0,25×0,25 за тот же период.

Для нивелирования искажений применяемых баз данных проведено их уточнение с помощью доступных станционных наблюдений за 2005–2018 гг., информация о которых взята на информационном портале компании ООО «Расписание погоды» [17]. Для этого данные используемых массивов интерполировались в точки станций методом сплайновой поверхности типа «тонкая пластина». Далее для каждого метеопараметра в один и тот же синоптический срок были рассчитаны коэффициенты корреляции, среднеквадратические отклонения данных реанализа и станционных данных, а также отношение дисперсий рядов. На этой основе проводили корректировку данных реанализа. Процедуру уточнения выполняли для каждого месяца отдельно. Таким образом, с поправками для каждой станции были получены новые ряды.

Для характеристики биоклиматических изменений на территории Крымского полуострова в работе оцениваются биоклиматические показатели в 22 точках расположения метеорологических станций. Учитывая, что в среднем пространственное распределение метеостанций в центральной Европейской части России составляет 1 станция на 4,6 тыс. км^2 [18], репрезентативности имеющейся сети в Крыму достаточно для того, чтобы дать характеристику практически для всей территории полуострова, за исключением Главной гряды Крымских гор и внутренних районов Тарханкутского и Керченского полуостровов (рис. 1). При этом следует обратить внимание на то, что территория Крымского полуострова характеризуется наличием трёх основных типов климата: степной, горный и южнобережный. Климат степного, равнинного Крыма на его большей части (север, запад и центр полуострова) — континентальный, а в районах городов Евпатории, Феодосии и Керчи — степной приморский. Континентальность климата снижается в Крымских горах и предгорье. Самый мягкий климат, имеющий черты субтропического или субсредиземноморского — на южном побережье Крыма. Климат на большей части территории Севастополя также относится к субтропическому.

Рис. 1. Географическое положение района исследования и расположение метеостанций.
Fig. 1. Geographical location of the study area and the location of weather stations: Ишунь — Yishun; Раздольное — Razdolnoye; Черноморское — Chernomorskoye; Евпатория — Yevpatoria; имферополь — Simferopol; Почтовое — Pochtovoye; Севастополь — Sevastopol; Ай-Петри — Ai-Petri; Ялта — Yalta; Никита — Nikita; Джанкой — Jankoy; Клепинино — Klepinino; Нижнегорский — Nyzhnegorskiy; Белогорск — Belogorsk; Ангарский перевал — Angarsk Pass; Алушта — Alushta; Владиславовка — Vladislavovka; Феодосия — Feodosia; Курортное — Kurortnoye; Мысовое — Mysovoye; Керчь — Kerch; Опасное — Opasnoye.

Соответственно, районы расположения метеостанций на территории Крыма по своим климатическим условиям неоднородны, что объясняется влиянием Крымских гор и омывающих полуостров Черного и Азовского морей. Горы выступают барьером, задерживающим приходящий холодный континентальный и арктический воздух, а моря служат регулятором тепла, смягчая климат побережья.

При выборе биоклиматических индексов для характеристики комфортности территорий учитывались их региональные особенности, эффективность показателей применительно к конкретным городам, а также наличие качественных метеорологических данных. Например, индекс сухого ветрового охлаждения (суровости) Бодмана (S) не будет показательным для Южного берега Крыма и Севастополя, так как для этих территорий характерен субсредиземноморский тип климата, а суровые погодные условия здесь наблюдаются нечасто. Зима обычно мягкая, непродолжительная, малоснежная, преимущественно с положительными температурами. Однако для местностей, расположенных в более северных широтах и не защищённых горами, индекс Бодмана вполне применим. Для преобладающего степного приморского типа климата северных районов Крыма в холодный период года характерны резкие понижения температуры воздуха и частая повторяемость сильных северо-восточных ветров. Период, когда северо-восточные ветры становятся максимально продолжительными и сильными, начинается с поздней осени и длится всю зиму. При этом температура воздуха обычно понижается на 8–10 ºС. Это намного ниже, чем при ветрах других направлений. Усиление охлаждающего эффекта происходит за счёт повышенной влажности воздуха, а также при вторжении арктического воздуха с материка (за счёт действия сильных северо-восточных ветров) — тогда на территории Крымского полуострова наступают периоды интенсивного похолодания. В первом случае весьма показательным будет расчёт индекса влажного ветрового охлаждения Хилла (H_w), во втором — индекс сухого ветрового охлаждения Бодмана. В работе В.В. Виноградовой [19] данные индексы рекомендованы как наиболее независимые по сравнению с другими для оценки суровости климата по результатам проведённого корреляционного анализа. Оценка их чувствительности к изменению входящих в расчётные формулы метеорологических величин показала, что оба индекса лучше других зависят от изменения температуры воздуха и скорости ветра, особенно при отрицательных и близких к нулю температурах, что очень важно для характеристики суровости климата в зимнее время и переходные сезоны [20]. Среди комфортных значений H_w выделяются три интервала: 31–50 мкал/см²·с (территория относится к относительно комфортной зоне); 11–30 мкал/см²·с (территория относится к умеренно комфортной); <10 мкал/см²·с (территория характеризуется комфортными условиями). При высоких дискомфортных значениях H_w (более 50 мкал/см²·с) он выступает в роли индикатора, ограничивающего пребывание человека на открытом воздухе и определяющего потребность в соответствующей одежде. Рассчитывают индекс по формуле [21]:

$$H_w=H_c+(0{,}085+0{,}0102\upsilon^{0,3})\cdot(61{,}1-e)^{0,75}, \qquad (1)$$

где $H_c=(0{,}13+\upsilon^{0,5})(36{,}6-t)$; υ — скорость ветра, м/с; t — температура воздуха, °С; e — упругость водяного пара, гПа.

Индекс H_w обычно используют для биоклиматической оценки в зимнее время и переходные сезоны, но для тёплого времени года он также применим. Так, при высоких температурах воздействие влажного ветрового потока уменьшает ощущение дискомфортности человека [22].

Индекс S рассчитывают только для холодного периода (зима и межсезонье) по формуле [21]:

$$S=(1-0{,}04\cdot t)\cdot(1+0{,}272\cdot\upsilon), \qquad (2)$$

где t — температура воздуха, °С; υ — скорость ветра, м/с.

Суровость погоды оценивают в баллах: при S <1 — не суровая, 1–2 — мало суровая, 2–3 — умеренно суровая, 3–4 — суровая, 4–5 — очень суровая, 5–6 — жёстко суровая, S >6 — крайне суровая.

К эффективным методам оценки биоклиматических условий Крымского полуострова в тёплый период года относится расчёт различных температурных индексов. Такие индексы, как индекс эквивалентной температуры, ЭЭТ и РЭЭТ, применяют для оценки тепловой чувствительности раздетого (по пояс) человека в летние месяцы. Для весенне-осеннего периода обычно используют индекс НЭЭТ (нормальной эквивалентно-эффективной температуры), так как она учитывает теплоощущения одетого человека, защищённого одеждой одного типа (одежда с теплоизоляцией 1 кло — платье, костюм и др.). Данный показатель особенно значим для оценки биоклиматического потенциала прибрежных местностей Крымского полуострова, так как курортный сезон в Крыму не ограничивается только летними месяцами: его продолжительность в среднем составляет от 130 до 160 дней в зависимости от части полуострова. В настоящей работе рассчитывались оба индекса — ЭЭТ и НЭЭТ. Расчёты ЭЭТ производятся по формуле F.A. Missenard [23]:

$$\text{ЭЭТ}=\text{ET}=37-\frac{37-t}{0{,}68-0{,}0014\cdot f+\frac{1}{1{,}76+1{,}4\cdot \upsilon^{0{,}75}}}-0{,}29\cdot e\cdot\left(1-\frac{f}{100}\right), \quad (3)$$

где t — температура воздуха, °С; υ — скорость ветра, м/с; f — относительная влажность, %; e — упругость водяного пара, гПа.

Для определения НЭЭТ используют формулу И.В. Бутьевой [24]:

$$\text{НЭЭТ}=0{,}8\cdot\text{ЭЭТ}+7°\text{С}, \quad (4)$$

где ЭЭТ — эквивалентно-эффективная температура, °С.

Индекс НЭЭТ напрямую связан с ЭЭТ, в связи с чем их годовой ход совпадает, но значения НЭЭТ значительно превышают значения ЭЭТ. Комфортные значения индекса ЭЭТ располагаются в диапазонах от +12 до +18 °С («комфорт (умеренно тепло)») и от +18 до +24 °С («комфорт (тепло)»), а для индекса НЭЭТ — в диапазоне от +12 до +24°С («умеренно тепло (комфортно)»).

В летние месяцы на территории Крымского полуострова в безветренную погоду при высокой температуре воздуха и повышенной влажности возникают неблагоприятные условия, которые могут привести к обострению различных хронических заболеваний. Одновременно с повышением температуры и влажности понижается содержание кислорода в воздухе. При этом самочувствие людей определяется не концентрацией кислорода в воздухе, а его весовым содержанием в единице объёма — парциальной плотностью кислорода (pO_2). Нормой для жизни человека считаются значения от 240 до 300 г/м^3 [14]. Распределение парциальной плотности кислорода в воздухе во времени и пространстве имеет суточный и сезонный характер и оценивается по величине суточного отклонения данного показателя от средних значений (285 г/м^3). В случае, если отклонение весового содержания кислорода не превышает 5 г/м^3, погода характеризуется как благоприятная, при снижении весового содержания кислорода на 5–10 г/м^3 — как умеренно неблагоприятная, а если значения весового содержания кислорода уменьшаются на 15 г/м^3 и более — неблагоприятная [25]. Для определения парциальной плотности кислорода в воздухе используют следующую формулу [26]:

$$pO_2=\frac{P-e}{R\cdot T}\cdot 0{,}2315\cdot 10^6, \quad (5)$$

где P — атмосферное давление, мб; e — парциальное давление водяного пара, мб; R — удельная газовая постоянная для сухого воздуха при давлении, выраженном в миллибарах, равная $2{,}87\times10^3$ см^2/с^2·град; T — абсолютная температура, равная 273 + температура воздуха, °С; 0,2315 — доля кислорода по весу в сухом воздухе; 10^6 — коэффициент перевода величин pO_2 из кг/м^3 в г/м^3.

Для расчётов биоклиматических индексов в работе использовали среднесуточные данные следующих метеорологических параметров: температура воздуха, относительная влажность, скорость ветра и атмосферное давление на уровне моря. Для всех временны́х рядов проведены контроль качества и проверка на пропуски. С целью оценки тенденций изменения значений биоклиматических показателей во времени рассчитывали коэффициенты линейного тренда для точек на пространственной сетке Крыма, приуроченных к каждой станции, с оценкой статистической значимости. Отметим, что биоклиматические показатели анализировали для трендов с уровнем значимости выше 80%. Биоклиматические показатели рассчитывали для «среднего человека», при этом не учитывались индивидуальные особенности (механизмы адаптации). В настоящее время учёными принят стандарт параметров среднестатистического человека: взрослый человек ростом 170 см с массой тела 67 кг [27].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные оценки трендов НЭЭТ на территории Крымского полуострова, характеризующие комплексное влияние на человека температуры, влажности воздуха и скорости ветра, показали рост НЭЭТ за 68 лет на всех станциях Крыма во все сезоны и месяцы года, за исключением декабря. Наиболее выражен положительный линейный тренд НЭЭТ с января по март, а также в августе и сентябре (рис. 2). В зимние месяцы значения статистически значимых положительных трендов составляют от 1,8 до 4,6 °С за 68 лет. В марте значения трендов заметно выше и составляют на разных станциях от 2,43 до 5,59 °С. При этом минимальные величины отмечаются на юге полуострова, в зоне субсредиземноморского климата. В августе и сентябре, наоборот, более заметное повышение НЭЭТ наблюдается на некоторых приморских станциях южной и восточной частей полуострова, где величина коэффициентов тренда составляет от 2,20 до 5,52 °С за 68 лет. В марте и августе значимость трендов НЭЭТ по критерию Стьюдента достигает максимального уровня (99%). Анализ основных параметров, входящих в расчётную формулу НЭЭТ, показал, что основной вклад в наблюдаемые тренды вносят изменения температуры воздуха и влажности. Подобные изменения установлены и в годовом ходе индекса ЭЭТ, так как он напрямую зависит от НЭЭТ.

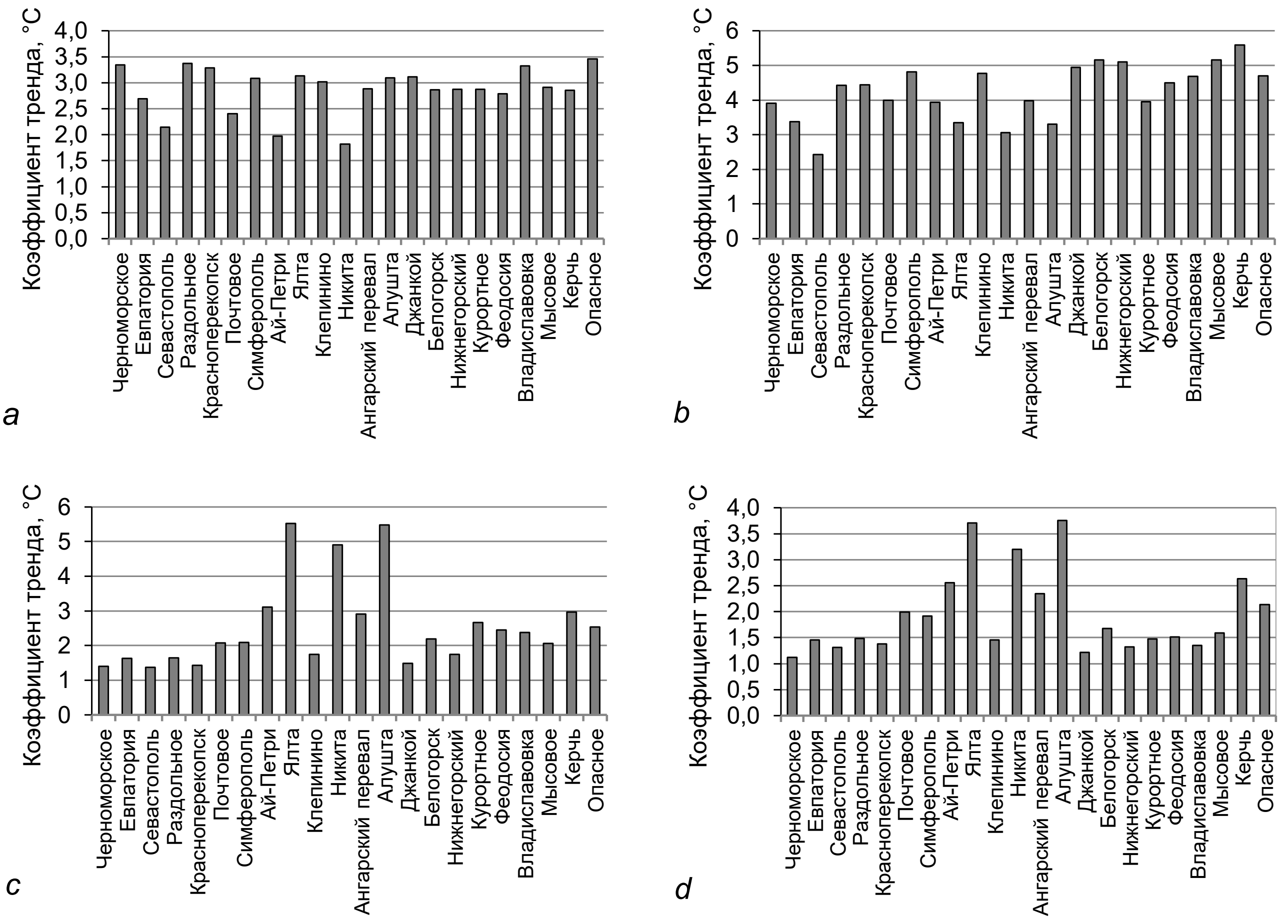


Рис. 2. Тренды среднемесячных значений нормальной эквивалентно-эффективной температуры в январе (*a*), марте (*b*), августе (*c*) и сентябре (*d*) за 1950–2018 гг.

Fig. 2. Trends of monthly average normal equivalent effective temperature in January (*a*), March (*b*), August (*c*) and September (*d*) for 1950–2018.

Коэффициент тренда (°С) — Trend coefficient (°С); Черноморское — Chernomorskoye; Евпатория — Yevpatoria; Севастополь — Sevastopol; Раздольное — Razdolnoye; Красноперекопск — Krasnoperekopsk; Почтовое — Pochtovoye; Симферополь — Simferopol; Ай-Петри — Ai-Petri; Ялта — Yalta; Клепинино — Klepinino; Никита — Nikita; Ангарский перевал — Angarsk Pass; Алушта — Alushta; Джанкой — Jankoy; Белогорск — Belogorsk; Нижнегорский — Nyzhnegorskiy; Курортное — Kurortnoye; Феодосия — Feodosia; Владиславовка — Vladislavovka; Мысовое — Mysovoye; Керчь — Kerch; Опасное — Opasnoye.

Повышение ЭТ в течение года сопровождается уменьшением значений индексов S и H_w. Оценка трендов значений индекса S подтвердила неравномерность проявления изменений в разные месяцы года. Наиболее чётко отрицательный линейный тренд выражен в марте (рис. 3) и составляет на разных станциях от –0,18 до –0,46 балла за 68 лет, причём это значимые на 99% уровне оценки. Максимальные значения отрицательных трендов в этом месяце относятся к приазовским местностям (Керчь, Мысовое, Опасное), а также к степной части Крыма (Симферополь и Нижнегорский). В январе и феврале для этих же станций характерны выраженные значимые отрицательные тренды со значениями от –0,20 до –0,46 балла за 68 лет. В декабре отрицательные тенденции сменяются на положительные почти на всех станциях (кроме Алушты и Ялты), но при этом значимые линейные тренды (выше 80%) выявлены для станций Ялта, Ай-Петри, Севастополь, Евпатория и Симферополь. Наибольший по величине положительный коэффициент тренда отмечается на станции Ай-Петри (0,20 балла за 68 лет), а отрицательный — в Ялте (–0,06 балла за 68 лет).

Аналогичные результаты получены и для индекса H_w, где также отмечаются преимущественно отрицательные тенденции. Наиболее заметные понижения значений H_w характерны для месяцев холодного периода (январь–март) и конца лета. В эти месяцы аномалии не только отрицательны, но и наибольшие по величине и значимости. На всех станциях в марте наблюдаются наиболее выраженные отрицательные тренды (рис. 4). Такое понижение значений индекса весьма неоднородно в пространстве. Так, для станций, расположенных в восточной части полуострова, значения тренда достигают –11,43 мкал/см^2·с за 68 лет, а для станций южного берега Крыма это –4,89 мкал/см^2·с за 68 лет. В августе максимальные значения отрицательных трендов индекса H_w характерны также для Южного берега Крыма и Керченского полуострова, где они достигают отметки в –8,41 мкал/см^2·с за 68 лет. В декабре, как и для индекса суровости, знак

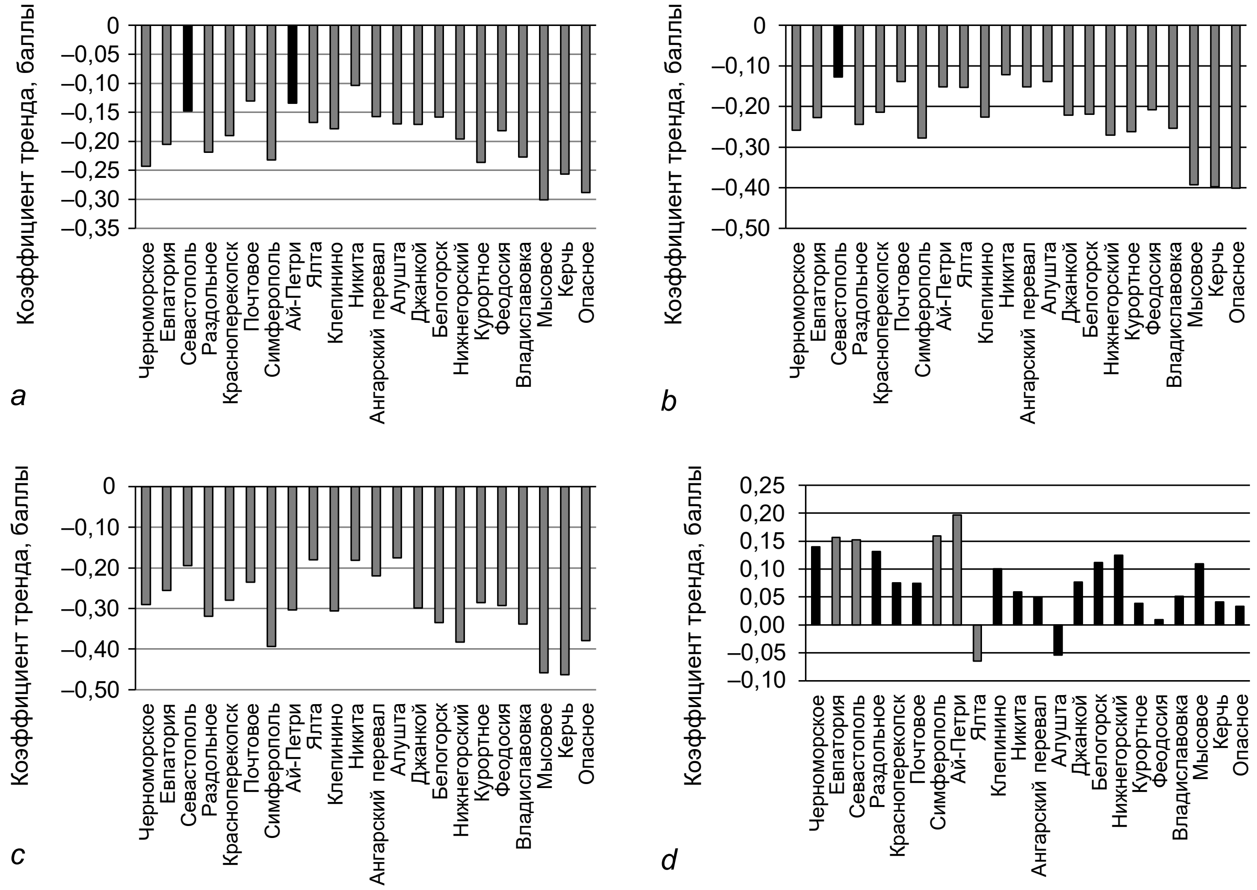


Рис. 3. Тренды среднемесячных значений S в январе (*a*), феврале (*b*), марте (*c*) и декабре (*d*) за 1950–2018 гг.; чёрным цветом обозначены незначимые коэффициенты.

Fig. 3. Trends of monthly average S in January (*a*), February (*b*), March (*c*) and December (*d*) for 1950–2018. * insignificant coefficients are marked in black.

Коэффициент тренда (баллы) — Trend coefficient (score); Черноморское — Chernomorskoye; Евпатория — Yevpatoria; Севастополь — Sevastopol; Раздольное — Razdolnoye; Красноперекопск — Krasnoperekopsk; Почтовое — Pochtovoye; Симферополь — Simferopol; Ай-Петри — Ai-Petri; Ялта — Yalta; Клепинино — Klepinino; Никита — Nikita; Ангарский перевал — Angarsk Pass; Алушта — Alushta; Джанкой — Jankoy; Белогорск — Belogorsk; Нижнегорский — Nyzhnegorskiy; Курортное — Kurortnoye; Феодосия — Feodosia; Владиславовка — Vladislavovka; Мысовое — Mysovoye; Керчь — Kerch; Опасное — Opasnoye.

тренда меняется на плюс, при этом значимые тренды отмечаются на станциях юго-западной, западной и северной части полуострова. Наибольшее значение тренда в этом месяце установлено на станции Ай-Петри — 5,8 мкал/см^2·с за 68 лет.

Анализ трендов pO_2 выявил в исследуемый период отрицательные тенденции в каждом месяце года на всех станциях за исключением декабря, хотя тренд в этом месяце незначим. Более быстрыми темпами уменьшается содержание кислорода в марте в степной части Крыма, на севере и востоке полуострова (от –3,50 до –4,62 г/м^3 за 68 лет) (рис. 5). С августа по октябрь более существенны изменения pO_2 в южной приморской части полуострова, где значения трендов превышают 3–4 г/м^3 за 68 лет. Для остальной территории характерно более медленное понижение содержания кислорода (до 2 г/м^3 за 68 лет). Анализ тенденций изменений pO_2 выявил статистически значимые на 99% уровне отрицательные тренды для марта, августа и сентября. В октябре значимость трендов варьирует от 80 до 99%.

ОБСУЖДЕНИЕ

На улучшение биоклиматических условий в холодный период и в начале весны на всей территории Крыма указывают положительные коэффициенты линейных трендов ЭЭТ и НЭЭТ. Наибольший вклад в рост эквивалентных температур за год вносят зимние и первый весенний месяцы на станциях западных, северных и восточных районов полуострова, а также август и сентябрь на южных приморских станциях. Отмеченное увеличение индексов ЭЭТ и НЭЭТ в зимне-весенний период говорит о тенденции к более раннему началу курортного сезона, что повышает возможность организации эффективного отдыха и лечения в холодные месяцы года. Летом рост эквивалентных температур свидетельствует о вероятности более жарких погодных условий, а в начале осени — об увеличении продолжительности тёплого периода.

Линейные тренды индекса pO_2 имеют отрицательный знак, при этом наиболее интенсивно количество

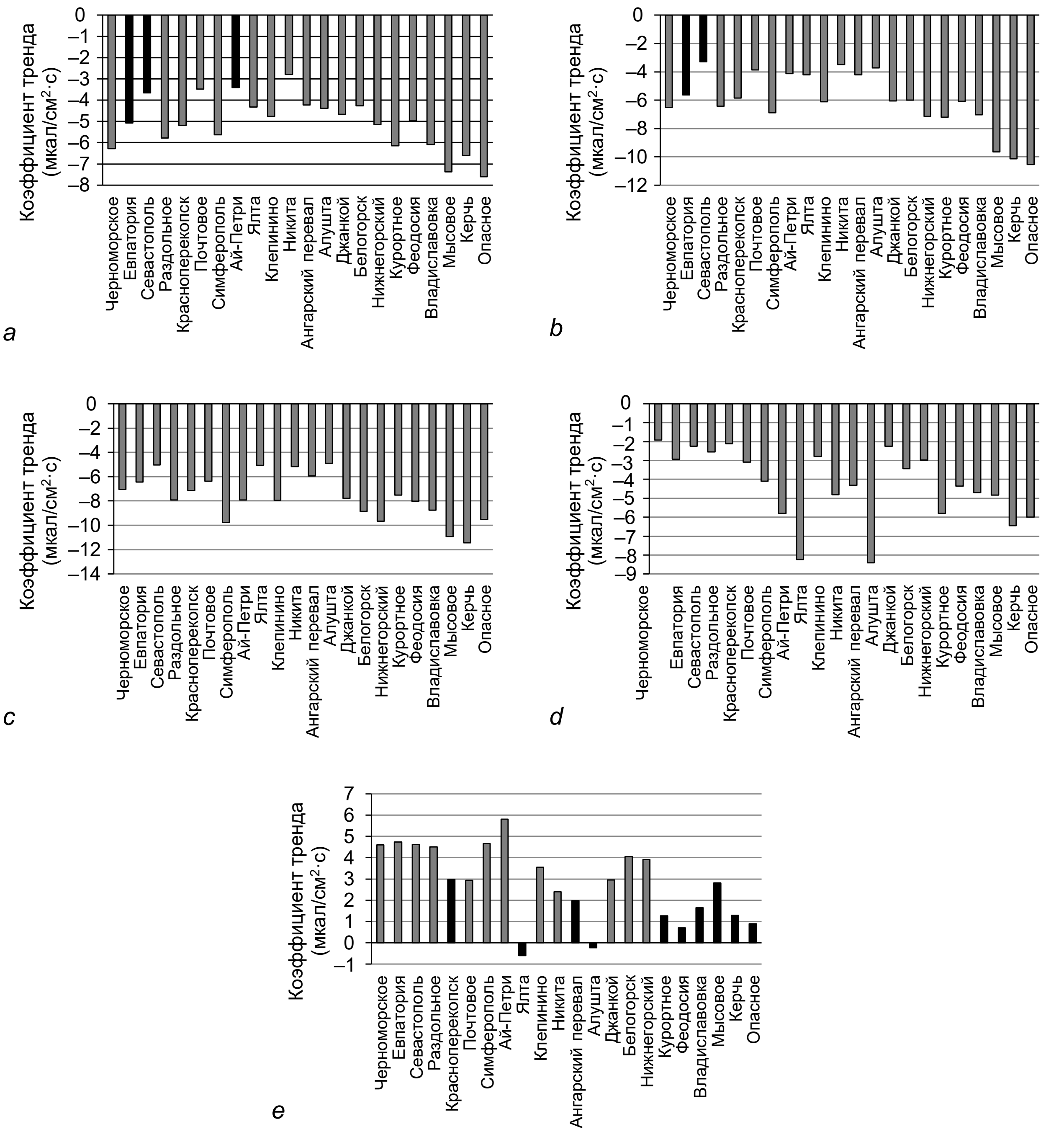


Рис. 4. Тренды среднемесячных значений H_w в январе (*a*), феврале (*b*), марте (*c*), августе (*d*) и декабре (*e*) за 1950–2018 гг.; чёрным цветом обозначены незначимые коэффициенты.

Fig. 4. Trends of monthly average H_w in January (*a*), February (*b*), March (*c*), August (*d*) and December (*e*) for 1950–2018. * insignificant coefficients are marked in black.

Коэффициент тренда (мкал/см^2·с) — Trend coefficient (mcal/cm^2·s); Черноморское — Chernomorskoye; Евпатория — Yevpatoria; Севастополь — Sevastopol; Раздольное — Razdolnoye; Красноперекопск — Krasnoperekopsk; Почтовое — Pochtovoye; Симферополь — Simferopol; Ай-Петри — Ai-Petri; Ялта — Yalta; Клепинино — Klepinino; Никита — Nikita; Ангарский перевал — Angarsk Pass; Алушта — Alushta; Джанкой — Jankoy; Белогорск — Belogorsk; Нижнегорский — Nyzhnegorskiy; Курортное — Kurortnoye; Феодосия — Feodosia; Владиславовка — Vladislavovka; Мысовое — Mysovoye; Керчь — Kerch; Опасное — Opasnoye.

кислорода уменьшается в степной части Крыма, на севере и востоке полуострова в марте, а также в период с августа по октябрь. Такие изменения вместе с повышением температуры воздуха обеспечивают в осенние месяцы ощущение физиологического дефицита кислорода. Весной же понижение значений кислорода свидетельствует о более раннем потеплении.

Отрицательные знаки трендов индексов H_w и S, более выраженные в январе-феврале и ранней весной, говорят об улучшении биоклиматических условий,

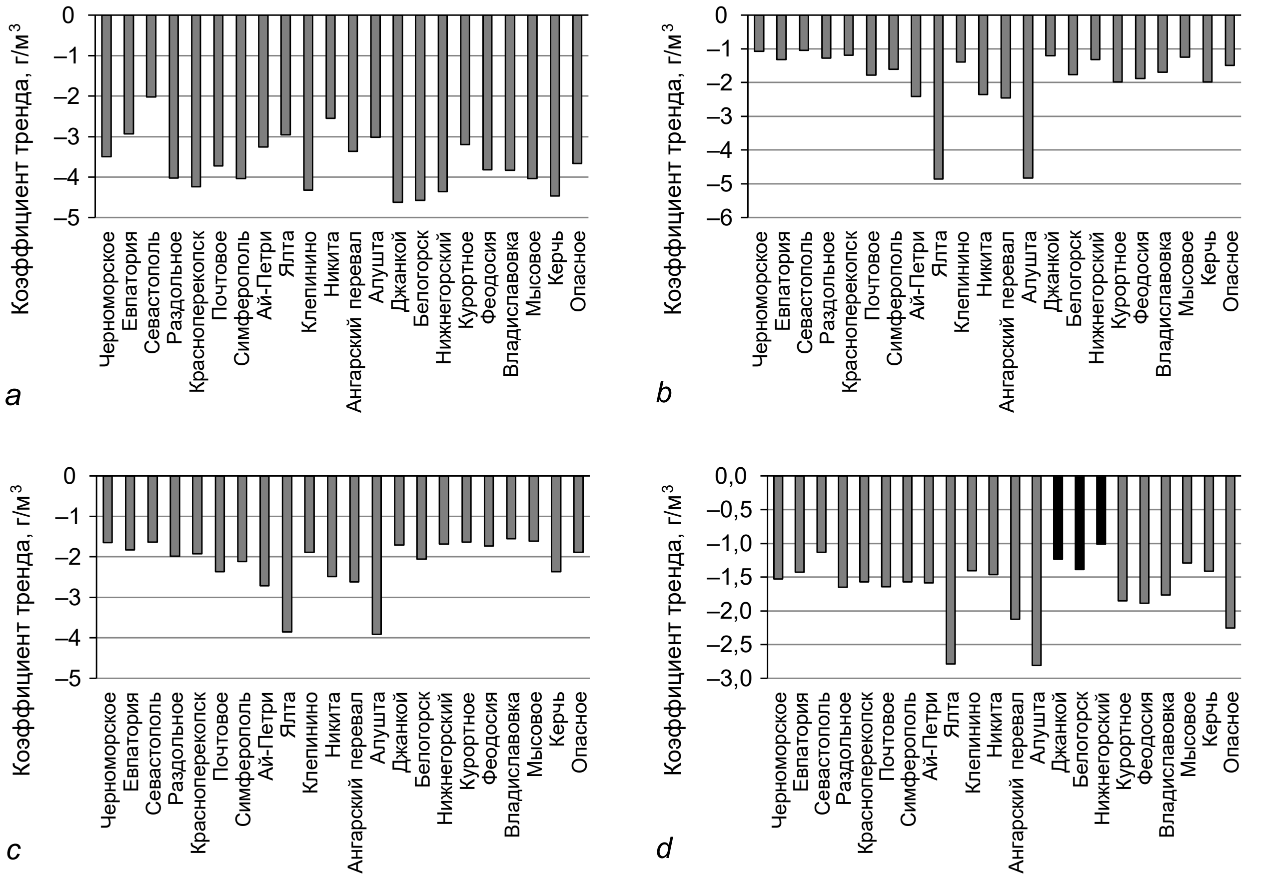


Рис. 5. Тренды среднемесячных значений pO_2 в марте (*a*), августе (*b*), сентябре (*c*) и октябре (*d*) за 1950–2018 гг. * серым цветом обозначены незначимые коэффициенты.

Fig. 5. Trends of monthly average pO_2 in March (*a*), August (*b*), September (*c*) and October (*d*) for 1950–2018. * insignificant coefficients are marked in gray.

Коэффициент тренда (г/м³) — Trend coefficient (g/m³); Черноморское — Chernomorskoye; Евпатория — Yevpatoria; Севастополь — Sevastopol; Раздольное — Razdolnoye; Красноперекопск — Krasnoperekopsk; Почтовое — Pochtovoye; Симферополь — Simferopol; Ай-Петри — Ai-Petri; Ялта — Yalta; Клепинино — Klepinino; Никита — Nikita; Ангарский перевал — Angarsk Pass; Алушта — Alushta; Джанкой — Jankoy; Белогорск — Belogorsk; Нижнегорский — Nyzhnegorskiy; Курортное — Kurortnoye; Феодосия — Feodosia; Владиславовка — Vladislavovka; Мысовое — Mysovoye; Керчь — Kerch; Опасное — Opasnoye.

что свидетельствует о расширении границ тёплого периода года с комфортными значениями биоклиматических показателей, приемлемого для организации рекреационных мероприятий. В конце лета отрицательные тренды H_w более типичны для территории Керченского полуострова и южного берега Крыма. В этот период они характеризуют ужесточение засушливых и жарких условий. Положительные тренды S и H_w в декабре на большей части степного Крыма свидетельствуют об усилении ветреных и дискомфортных биоклиматических условий.

Изменение биоклиматических условий непременно наложит отпечаток на характер рекреационной деятельности в Крыму, включая оздоровительный туризм, с особенностями в разные сезоны года. При этом должно учитываться влияние соответствующих погодных факторов на здоровых людей и лиц с хроническими заболеваниями. В зависимости от того, какой эффект оказывают погодные условия, рекреационные мероприятия разделяются на два основных вида: активные и пассивные. К активной рекреации относятся прогулки на свежем воздухе, терренкуры, плавание в море, различные спортивные игры. Обычно при активной рекреации (кроме купания в море) в весенне-осенний период люди одеты (лёгкая одежда с уровнем защиты 0,5–1 кло), что делает их времяпрепровождение на открытом воздухе более комфортным и при более низких температурах. В таком случае требования к погоде могут быть менее жёсткими [28]. К пассивной рекреации относятся солнечные и воздушные ванны. Данный вид рекреации требует более жёстких требований к погоде. При обоих видах рекреации существенными ограничениями являются высокая влажность воздуха, духота, сильный штормовой ветер и обильные осадки, затрудняющие пребывание на открытом воздухе. К дополнительным ограничивающим факторам рекреационной деятельности относятся также состояние здоровья (наличие хронических заболеваний, особенно патологий кардиореспираторной и нервной систем) и возраст человека (детский, пожилой, старческий, преклонный) [28, 29]. Для рекреантов, которые относятся к той или иной категории, лечение климатом должно проводиться в щадящем режиме и дозированно.

В зимние месяцы (январь и февраль) зачастую возникают периоды (окна) ослабления холодовой нагрузки на организм, тогда появляется возможность проведения солнечных и воздушных ванн на открытом воздухе. В периоды устойчивых северо-восточных ветров такие мероприятия проводятся в защищённых от ветра сооружениях. За счёт увеличения значений эквивалентных температур в конце зимы и начале весны появляется возможность начинать курортный сезон раньше, чем обычно. В марте преобладают холодные ветры, однако они становятся слабее, заметно теплеет, что благоприятствует активным видам рекреации (кроме купания в море). В летние же месяцы аналогичный рост температур может привести к дискомфортным значениям, а в сочетании с пониженным количеством кислорода в воздухе — создать существенные риски для людей с болезнями органов дыхания и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Данные особенности необходимо учитывать и по мере необходимости вводить полный запрет на рекреационную деятельность или частично ограничивать определённые категории рекреантов. Повышение значений эквивалентных температур в начале осени увеличивает в целом продолжительность курортного сезона с комфортными условиями. Однако стоит отметить, что в это же время может отмечаться бóльшая вероятность душных погод, вызывающих дискомфорт для здоровых людей и опасных для людей с рядом хронических заболеваний. В середине осени также повторяется улучшение биоклиматических условий, благоприятных для проведения рекреационных процедур. В это время происходит смена основных видов рекреации: отдых на пляже и купание замещаются на прогулки у берега, походы, терренкуры, спортивные игры и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ динамики биоклиматических индексов за 1950–2018 гг. показал, что изменения климата проявляются в соответствующих изменениях рекреационного потенциала территории Крыма. Выявленные особенности этих изменений позволят заблаговременно корректировать планы проведения рекреационной деятельности в регионе. В начале весны на прибрежных станциях Керченского полуострова, а также в северной и восточной частях Крыма отмечаются тенденции к более раннему началу рекреационного сезона. Благодаря улучшению комфортности погодных условий в будущем в данных районах могут расшириться границы рекреационных периодов в несезонные месяцы. На приморских станциях южной и юго-восточной частей Крыма в летние месяцы повышается вероятность ощущения физиологического дефицита кислорода. Такие особенности впоследствии могут привести к сокращению сезона в летний период и увеличению — в начале осени, когда биоклиматические условия остаются близки к летним, но считаются более благоприятными для проведения активных видов рекреационных мероприятий.

Выявленные закономерности изменений биоклиматических показателей могут выступать регулирующим фактором для планирования и организации различных видов рекреационных мероприятий на территории Крыма и таким образом обеспечивать продолжительность рекреационного периода.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов. Оба автора подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (оба автора внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.А. Стефанович — концепция и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных, их графическое представление, подготовка первого варианта статьи; Е.Н. Воскресенская — редакция текста статьи, окончательное утверждение присланной в редакцию рукописи.

Authors' contribution. Both authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (both authors have contributed significantly to the development of the concept, research, and preparation of the article, read, and approved the final version before publication). The greatest contribution is distributed as follows: A.A. Stefanovich — study concept and design, acquisition, analysis, interpretation and visualization of data, preparation of the first version of the article; E.N. Voskresenskaya — correction of the text, final approval of the manuscript.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания Института природно-технических систем «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия» (номер государственной регистрации 121122300072-3) и стратегического проекта № 3 программы «Приоритет-2030» Севастопольского государственного университета (номер государственной регистрации 121121700314-3).

Funding sources. The work was made within the framework of the state task of the Institute of Natural and Technical Systems "Fundamental and applied research on the regularities and mechanisms of formation of regional changes in the natural environment and climate under the influence of global processes in the ocean-atmosphere system and anthropogenic impact" (No 121122300072-3) and the program "Prioritet-2030" of Sevastopol State University (strategic project No 3) (No 121121700314-3).

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев М.С., Николашкин С.В., Каримов Р.Р. Сравнение приземной температуры воздуха в Якутии по данным реанализа и наземных наблюдений // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2014. Т. 11, № 5. С. 82–88.
2. Рыбак О.О., Рыбак Е.А. Климатические изменения на юге России: тенденции и возможности прогноза // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 111. С. 538–552.
3. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. Москва, 2022. 104 с. Режим доступа: https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf
4. Назарова Л.Е. Изменчивость климата водосбора Онежского озера В кн.: VI Семеновские чтения: наследие П.П. Семенова-Тян-Шанского и современная наука: материалы международной научной конференции, посвященной 190-летию со дня рождения П.П. Семенова-Тян-Шанского. 19–20 мая 2017 года; Липецк, Россия. Липецк : Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2017. С. 90–91.
5. Донченко Я.В., Лемешко Н.А., Биненко В.И. Итоговый технический отчет: оценка состояния климата в пределах территории Ленинградской области, в том числе оценка факторов влияния антропогенной деятельности на климат, разработка мер по адаптации к изменениям климата. Санкт-Петербург, 2015. 121 с.
6. Горохов А.Н., Федоров А.Н. Современные тенденции изменения климата в Якутии // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 111–119. doi: 10.21782/GiPR0206-1619-2018-2(111-119)
7. Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. Проявления глобальных климатических изменений в прибрежных акваториях и прилегающих районах Охотского моря // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2018. № 6. С. 20–34. doi: 10.25808/08697698.2018.202.6.003
8. Гайко Л.А. Изменчивость температуры воды и воздуха вдоль побережья Восточного Приморья и Хабаровского края по данным наблюдений на гидрометеорологических станциях // Морской гидрофизический журнал. 2022. Т. 38, № 4. С. 389–404. doi: 10.22449/0233-7584-2022-4-389-404
9. Пономарев В.И., Дмитриева Е.В., Шкорба С.П. Особенности климатических режимов в северной части Азиатско-Тихоокеанского региона // Системы контроля окружающей среды. 2015. № 1. С. 67–72.
10. Hansen J., Sato M., Ruedy R., et al. Global temperature change // Proc Natl Acad Sci U S A. 2006. Vol. 103, N 39. P. 14288–14293. doi: 10.1073/pnas.0606291103
11. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., и др. Изменения температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России в XX–XXI веках. В кн.: Климатические риски и космическая погода. Материалы Международной конференции, посвященной памяти Нины Константиновны Кононовой; 14–17 июня 2021 года; Иркутск, Россия. Иркутск : Иркутский государственный университет, 2021. С. 292–298.
12. Приходько И.А., Вербицкий А.Ю., Сергеев А.Э. Анализ изменения климата на Черноморском побережье России // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 1. С. 366–383. doi: 10.55186/25876740-2022-6-1-23
13. Рыбак О.О., Рыбак Е.А. Применение данных сетевых метеорологических станций для расчета баланса массы ледников (на примере ледника Джанкуат, Центральный Кавказ) // Системы контроля окружающей среды. 2017. № 9. С. 100–108.
14. Трубина М.А., Хассо Л.А., Дячко Ж.К. Методы биоклиматической оценки Северо-Западного региона России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. № 13. С. 121–137.
15. Ярош А.М., Солдатченко С.С., Коршунов Ю.П., и др. Сравнительная медико-климатологическая характеристика основных приморских курортных местностей Европы и прилегающих к ней регионов Азии и Африки. Симферополь : Сонат, 2000. 135 с.
16. Воскресенская Е.Н. Изменчивость климатических характеристик курортных местностей Черного и Средиземного морей под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2003. № 9. С. 39–48.
17. https://rp5.ru/ [интернет]. Расписание погоды [дата обращения 28.04.2018]. Доступ по ссылке: https://rp5.ru
18. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX в. и в начале XXI в. по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. 2012. Т. 37, № 6. С. 95–107.
19. Виноградова В.В. Воздействие глобального потепления на суровость климата северных и восточных территорий России в 80-е гг. XX века // Известия РАН. Серия географическая. 1997. № 2. С. 126–132.
20. Переведенцев Ю.П., Занди Р., Аухадеев Т.Р., Шанталинский К.М. Оценка влияния климата на человека в засушливых условиях юго-западного Ирана // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, № 1. С. 104–113.
21. Исаев А.А. Экологическая климатология. Москва : Научный мир, 2001. 456 с.
22. Золотокрылин А.Н., Канцебовская И.В., Кренке А.Н. Районирование территории России по степени экстремальности природных условий для жизни человека // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 1992. № 6. С. 16–30.
23. Missenard F.A. Température effective d'une atmosphere Généralisation température résultante d'un milieu. In: Encyclopédie Industrielle et Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation. Librerie de l'Enseignement Technique. Paris, 1933. P. 131–185.
24. Бутьева И.В., Шейнова Т.Г. Методические вопросы интегрального анализа медико-климатических условий. В кн.: Комплексные биоклиматические исследования. Москва, 1988. С. 97–108.
25. Овчарова В.Ф. Гомеокинез в погодную гипоксию и гипероксию. В кн.: Труды Международного симпозиума ВМО/ВОЗ/

ЮНЕП «Климат и здоровье человека». Ленинград : Гидрометеоиздат, 1988. С. 142–149.

26. Бутьева И.В., Галахова Э.Н., Ильичева Е.М., и др. Формулы и номограммы для расчетов медико-метеорологических показателей // Материалы метеорологических исследований. 1984. № 8. С. 151–159.

27. Емелина С.В. Прогноз погодных условий, неблагоприятных для населения с сердечно-сосудистыми и аллергическими заболеваниями: дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 2020.

28. Ежов В.В., Каладзе Н.Н., Ярош А.М. Методические рекомендации по климатолечению. Пляжи и пляжные сооружения. Симферополь, 2010. 72 с.

29. Разумов А.Н., Стародубов В.И., Пономаренко Г.Н. Санаторно-курортное лечение: национальное руководство. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. 704 с.

REFERENCES

1. Vasiliev MS, Nikolashkin SV, Karimov RR. Comparison of surface air temperature in Yakutia derived from reanalysis and ground measurements. *Vestnik of the M.K. Ammosov North-Eastern Federal University*. 2014;11(5):82–88. (In Russ).

2. Rybak OO, Rybak EA. Climate change in the South of Russia: tendencies and possibilities for prediction. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2015;(111):538–552. (In Russ).

3. Federal'naja sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhajushhej sredy (Rosgidromet). *Doklad ob osobennostjah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2021 god*. Moscow, 2022. 104 p. (In Russ). Available from: https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf

4. Nazarova LE. Izmenchivost' klimata vodosbora Onezhskogo ozera In: *VI Semenovskie chtenija: nasledie P.P. Semenova-Tjan-Shanskogo i sovremennaja nauka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 190-letiju so dnja rozhdenija P.P. Semenova-Tjan-Shanskogo*; 2017 May 19–20; Lipeck, Russia. Lipeck: Lipeckij gosudarstvennyj pedagogicheskij universitet imeni P.P. Semenova-Tjan-Shanskogo; 2017. P. 90–91. (In Russ).

5. Donchenko JaV, Lemeshko NA, Binenko VI. *Itogovyj tehnicheskij otchet: ocenka sostojanija klimata v predelah territorii Leningradskoj oblasti, v tom chisle ocenka faktorov vlijanija antropogennoj dejatel'nosti na klimat, razrabotka mer po adaptacii k izmenenijam klimata*. Saint Petersburg, 2015. 121 p. (In Russ).

6. Gorohov AN, Fedorov AN. Current trends in climate change in Yakutia. *Geografia i prirodnye resursy*. 2018;(2):111–119. (In Russ). doi: 10.21782/GiPR0206-1619-2018-2(111-119)

7. Rostov ID, Dmitrieva EV, Vorontsov AA. Manifestations of global climate changes in coastal waters and adjacent areas of the Okhotsk Sea. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2018;(6):20–34. (In Russ). doi: 10.25808/08697698.2018.202.6.003

8. Gajko LA. Variability of water and air temperature along the coast of Eastern Primorye and Khabarovsk Territory based on the weather station data. *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal*. 2022;38(4):389–404. (In Russ). doi: 10.22449/0233-7584-2022-4-389-404

9. Ponomarev VI, Dmitrieva EV, Shkorba SP. Features of climate regimes in the North Asian Pacific. *Monitoring systems of environment (Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy)*. 2015;(1):67–72. (In Russ).

10. Hansen J, Sato M, Ruedy R, et al. Global temperature change. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2006;103(39):14288–14293. doi: 10.1073/pnas.0606291103

11. Perevedencev JuP, Sherstjukov BG, Shantalinskij KM, et al. Izmenenija temperatury vozduha i atmosfernyh osadkov na territorii Rossii v XX–XXI vekah. In: *Klimaticheskie riski i kosmicheskaja pogoda. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennoj pamjati Niny Konstantinovny Kononovoj*; 2021 June 14–17; Irkutsk, Rossija. Irkutsk: Irkutskij gosudarstvennyj universitet; 2021. P. 292–298. (In Russ).

12. Prihodko IA, Verbitsky AYu, Sergeev AE. Climate change on the Black Sea coast of Russia. *International Agricultural Journal*. 2022;65(1):366–383. (In Russ). doi: 10.55186/25876740-2022-6-1-23

13. Rybak OO, Rybak EA. Implementation of observations at regular meteorological stations for mass balance calculation of mountain glaciers (on the example of the Dzhankuat glacier, Central Caucasus). *Monitoring systems of environment (Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy)*. 2017;9(29):100–108. (In Russ).

14. Trubina M, Hasso L, Dyachko Zh. Methods of the bioclimatic estimation of the Northwest region of Russia. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2010;(13):121–137. (In Russ).

15. Jarosh AM, Soldatchenko SS, Korshunov JuP, et al. *Sravnitel'naja mediko-klimatologicheskaja harakteristika osnovnyh primorskih kurortnyh mestnostej Evropy i prilegajushhih k nej regionov Azii i Afriki*. Simferopol': Sonat; 2000. 135 p. (In Russ).

16. Voskresenskaja EN. Izmenchivost' klimaticheskih harakteristik kurortnyh mestnostej Chernogo i Sredizemnogo morej pod vlijaniem global'nyh processov v sisteme okean-atmosfera. *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. 2003;(9):39–48. (In Russ).

17. https://rp5.ru/ [Internet]. Raspisanie pogody [cited 28.04.2018]. Available from: https://rp5.ru

18. Anisimov OA, Zhil'tsova EL. Climate change estimates for the regions of Russia in the 20th century and in the beginning of the 21st century based on the observational data. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2012;37(6)421–429. (In Russ). doi: 10.3103/S1068373912060106

19. Vinogradova VV. Vozdejstvie global'nogo poteplenija na surovost' klimata severnyh i vostochnyh territorij Rossii v 80-e gg. XX veka. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 1997;(2):126–132. (In Russ).

20. Perevedentsev YuP, Zandi R, Aukhadeev TR, Shantalinskii KM. Assessment of climate influence on a man in droughty conditions of Southwest Iran. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2015;25(1):104–113. (In Russ).

21. Isaev AA. *Jekologicheskaja klimatologija*. Moscow: Nauchnyj mir; 2001. 456 p. (In Russ).

22. Zolotokrylin AN, Kancebovskaja IV, Krenke AN. Rajonirovanie territorii Rossii po stepeni jekstremal'nosti prirodnyh uslovij dlja zhizni cheloveka. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 1992;(6):16–30. (In Russ).

23. Missenard FA. Température effective d'une atmosphere Généralisation température résultante d'un milieu. In: *Encyclopédie Industrielle et Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation*. *Librerie de l'Enseignement Technique*. Paris, 1933. P. 131–185. (In France).
24. But'eva IV, Shejnova TG. Metodicheskie voprosy integral'nogo analiza mediko-klimaticheskih uslovij. In: *Kompleksnye bioklimaticheskie issledovanija*. Moscow; 1988. P. 97–108. (In Russ).
25. Ovcharova VF. Gomeokinez v pogodnuju gipoksiju i giperoksiju. In: *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma VMO/VOZ/JuNEP «Klimat i zdorov'e cheloveka»*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1988. P. 142–149. (In Russ).
26. But'eva IV, Galahova JeN, Il'icheva M, et al. Formuly i nomogrammy dlja raschetov mediko-meteorologicheskih pokazatelej. *Materialy meteorologicheskih issledovanij*. 1984;(8):151–159. (In Russ).
27. Emelina SV. *Prognoz pogodnyh uslovij, neblagoprijatnyh dlja naselenija s serdechno-sosudistymi i allergicheskimi zabolevanijami* [dissertation]. Moscow, 2020. (In Russ).
28. Ezhov VV, Kaladze NN, Jarosh AM. *Metodicheskie rekomendacii po klimatolecheniju. Pljazhi i pljazhnye sooruzhenija*. Simferopol'; 2010. 72 p. (In Russ).
29. Razumov AN, Starodubov VI, Ponomarenko GN. *Sanatorno-kurortnoe lechenie: nacional'noe rukovodstvo*. Moscow: GEOTAR-Media; 2021. 704 p. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Анна Андреевна Стефанович,** младший научный сотрудник;
адрес: Россия, 2999011, Севастополь, ул. Ленина, 28;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4076-7623;
eLibrary SPIN: 7723-0167;
e-mail: amazurenko@mail.ru

Елена Николаевна Воскресенская, д.г.н., профессор;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4889-0180;
eLibrary SPIN: 3183-6409;
e-mail: elena_voskr@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS INFO

***Anna A. Stefanovich,** junior research associate;
address: 28 Lenina street, 299011, Sevastopol, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4076-7623;
eLibrary SPIN: 7723-0167;
e-mail: amazurenko@mail.ru

Elena N. Voskresenskaya, MD, Dr. Sci. (Geogr.), professor;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4889-0180;
eLibrary SPIN: 3183-6409;
e-mail: elena_voskr@mail.ru