

ЭКОЛОГИЯ

Ч Е Л О В Е К А

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

04.2019

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Северный государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
Основан в 1994 году

Основным направлением деятельности журнала является публикация научных исследований, посвященных проблемам экологии человека и имеющих как фундаментальное, так и прикладное значение. В журнале публикуются оригинальные статьи, обзоры и краткие сообщения по всем аспектам экологии человека и общественного здоровья. Предназначен для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций.

Главный редактор – Любовь Николаевна Горбатова (Архангельск)
Заместители главного редактора: А. Б. Гудков (Архангельск), И. Б. Ушаков (Москва)
Научный редактор – П. И. Сидоров (Архангельск)
Международный редактор – А. М. Гржибовский (Россия/Казахстан)
Ответственный секретарь – О. Н. Попова

Редакционная коллегия: Т. А. Бажукова (Архангельск), В. П. Быков (Архангельск), Н. В. Зайцева (Пермь), Б. В. Лабудин (Архангельск), В. И. Макарова (Архангельск), В. И. Малыгин (Северодвинск), С. И. Малявская (Архангельск), С. Л. Совершаева (Архангельск), А. Г. Соловьев (Архангельск), В. И. Торшин (Москва), Б. Ю. Филиппов (Архангельск), В. П. Чащин (Санкт-Петербург)

Председатель редакционного совета – В. А. Черешнев (Москва)

Редакционный совет: Р. В. Бузинов (Архангельск), А. Т. Быков (Сочи), А. Н. Глушков (Кемерово), С. Ф. Гончаров (Москва), В. А. Грачев (Москва), А. В. Грибанов (Архангельск), Ронда Джонсон (США), Н. В. Доршакова (Петрозаводск), С. А. Ефименко (Москва), П. С. Журавлев (Архангельск), Е. А. Ильин (Москва), Рамуне Каледене (Литва), С. И. Колесников (Москва), Пер Магнус (Норвегия), И. Г. Мосягин (Санкт-Петербург), Йон Ойвинд Одланд (Норвегия), Г. Г. Онищенко (Москва), В. И. Покровский (Москва), Керсти Пярна (Эстония), Арья Раутио (Финляндия), Ю. А. Рахманин (Москва), Г. А. Софронов (Санкт-Петербург), В. С. Фортыгин (Архангельск), Л. С. Щёголева (Архангельск), Кью Янг (Канада)

Редактор Н. С. Дурасова **Переводчик** О. В. Калашникова **Дизайн обложки и верстка** Г. Е. Волкова

Перепечатка текстов без разрешения журнала запрещена. При цитировании материалов ссылка на журнал обязательна

Адрес редакции и издателя: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, 51.

Тел. (8182) 20-65-63; e-mail: rio@nsmu.ru; rionsmu@yandex.ru

Адрес типографии:

ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51. Тел. (8182) 28-56-64, факс (8182) 20-61-90

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 13 октября 2016 г. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-67426

Подписано в печать 26.03.19. Дата выхода в свет 16.04.19. Формат 60×90/8. Печать цифровая.

Уч.-изд. л. 7,7. Тираж 1000 экз., зак. 2087.

Индекс 20454. Цена свободная

© Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

HUMAN

ECOLOGY

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC JOURNAL

04.2019

Publisher - Northern State Medical University
In continuous publication since 1994

Human Ecology is a peer-reviewed nationally and internationally circulated Russian journal with the main focus on research and practice in the fields of human ecology and public health. The Journal publishes original articles, reviews, short communications, educational materials and news. The primary audience of the Journal includes health professionals, environmental specialists, researchers and doctoral students. The journal is recommended by the Higher Attestation Committee of the Russian Federation for publication of materials from doctoral theses in health sciences.

Editor-in-Chief - Liubov Nikolaevna Gorbatova (Arkhangelsk)
Deputy Editors-in-Chief: A. B. Gudkov (Arkhangelsk), I. B. Ushakov (Moscow)
Science Editor - P. I. Sidorov (Arkhangelsk)
International Editor - A. M. Grjibovski (Russia/Kazakhstan)
Executive Secretary - O. N. Popova

Editorial Board: T. A. Bazhukova (Arkhangelsk), V. P. Bykov (Arkhangelsk), N. V. Zaitseva (Perm), B. V. Labudin (Arkhangelsk), V. I. Makarova (Arkhangelsk), V. I. Malygin (Severodvinsk), S. I. Malyavskaya (Arkhangelsk), S. L. Sovershaeva (Arkhangelsk), A. G. Soloviev (Arkhangelsk), V. I. Torshin (Moscow), B. Yu. Filippov (Arkhangelsk), V. P. Chashchin (Saint Petersburg)

Chairman of Editorial Council - V. A. Chereshnev (Moscow)

Editorial Council: R. V. Buzinov (Arkhangelsk), A. T. Bykov (Sochi), A. N. Glushkov (Kemerovo), S. F. Goncharov (Moscow), V. A. Grachev (Moscow), A. V. Griбанov (Arkhangelsk), Rhonda Johnson (USA), N. V. Dorshakova (Petrozavodsk), S. A. Efimenko (Moscow), P. S. Zuravlev (Arkhangelsk), E. A. Ilyin (Moscow), Ramune Kalediene (Lithuania), S. I. Kolesnikov (Moscow), Per Magnus (Norway), I. G. Mosyagin (Saint Petersburg), Jon Øyvind Odland (Norway), G. G. Onishchenko (Moscow), V. I. Pokrovsky (Moscow), Kersti Pärna (Estonia), Arja Rautio (Finland), Yu. A. Rakhmanin (Moscow), G. A. Sofronov (Saint Petersburg), V. S. Fortygin (Arkhangelsk), L. S. Shchegoleva (Arkhangelsk), Kue Young (Canada)

Editor N. S. Durasova **Translator** O. V. Kalashnikova **Cover design and make-up** G. E. Volkova

Editorial office: Troitsky Ave. 51, 163000 Arkhangelsk, Russia.
 Tel. +7 (8182) 20 65 63; email: rio@nsmu.ru; rionsmu@yandex.ru
 Publisher: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University»
 of Ministry of Healthcare of Russian Federation
 Troitsky Ave. 51, 163000 Arkhangelsk, Russia. Tel. +7 (8182) 28 56 64, fax +7 (8182) 20 61 90.
 Registered by the Federal Supervision Agency for Information Technologies and Communications on 13.10.2016.
 Certificate of Mass Media Registration ПИ № ФС 77-67426.

Format 60×90/8. Digital printing. Index 20454. Free price
 © Northern State Medical University, Arkhangelsk

СОДЕРЖАНИЕ

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

- Аскарров Р. А., Лакман И. А., Садикова Л. Ф.,
Карелин А. О., Аскарова З. Ф.**
Пространственное моделирование уровня смертности
населения в зависимости от химического загрязнения
атмосферного воздуха (на примере Республики Башкортостан) 4
- Горбунов А. В., Ляпунов С. М., Ермолаев Б. В.**
Распределение ртути в природных
и урбанизированных средах Карелии 10

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

- Филатов М. А., Иляшенко Л. К., Макеева С. В.**
Психофизиологические параметры учащихся
в условиях транширотных перемещений 18
- Филиппова О. Е., Шашкова Е. Ю., Щёголева Л. С.**
Соотношение цитотоксических лимфоцитов и пролактина
у женщин Архангельской и Мурманской областей в процессе
физиологической регуляции адаптивного иммунного ответа 25
- Климова Т. М., Кузьмина А. А., Малогулова И. Ш.**
Региональные аспекты смертности населения
Республики Саха (Якутия) 31

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Чашин В. П., Иванова О. М., Иванова М. А.**
Медико-экологические аспекты связи расстройств
функциональных систем человека с содержанием
микроэлементов бария и стронция в организме.
Обзор литературы 39
- Гладкая В. С., Грицинская В. Л.**
Этнические особенности топографии жировой массы тела
у женщин Республики Хакасия 48
- Изекенова А. К., Рамазанова М. А., Степкина Е. Л.,
Зикриярова С. М., Кожекенова Ж. А., Аимбетова Г. Е.,
Бекботаев Е. К., Кумар А. Б., Изекенова А. К.,
Калмаханов С. Б., Гржибовский А. М.**
Медицинская наука в Казахстане: анализ восприятия
ситуации научными сотрудниками, менеджерами
здравоохранения и практическими врачами 54

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Гусейнова М. В.**
Исследование возможности групповой оценки
теплового комфорта по теории Фангера применительно
ко множеству лиц с разными трудовыми показателями 60

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

© 2019 г. ¹Р. А. Аскарлов, ²И. А. Лакман, ²Л. Ф. Садикова, ³А. О. Карелин, ⁴З. Ф. Аскарлова

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе», г. Москва;

²ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа; ³ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова», г. Санкт-Петербург;

⁴ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Уфа, Россия

Цель исследования – выявление количественного влияния химического загрязнения атмосферного воздуха (выбросы газообразных, жидких, твердых веществ) на общую смертность населения Республики Башкортостан (РБ) на основании построения моделей с учетом пространственного лага. *Методы.* В исследовании использованы официальные статистические материалы Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РБ (таблица С 51 «Распределение умерших по полу, возрастным группам и причинам смерти»). Рассматривались данные, состоящие из наблюдений по 54 муниципальным образованиям и 21 городам РБ, прослеженные в динамике за 14 лет (2002–2015). В качестве инструментальных математических средств использовались методы пространственной регрессии: для оценки наличия пространственных автокорреляционных связей – коэффициенты Морана и Гири; для оценки влияния выбросов на показатели смертности – модели пространственной панельной авторегрессии. *Результаты.* Установлено наличие пространственной автокорреляции в показателях смертности как у мужчин, так и у женщин. Наилучшей спецификацией пространственных моделей оказалась модель SAR, согласно которой при возрастании количества выбросов на 1 т в данном муниципалитете следует ожидать увеличения смертности среди мужчин 2,33 случая на 1 000 человек, среди всего населения муниципалитета – 2,02 случая на 1 000 человек. Однако если рассматривать фактор выбросов с учетом пространственного лага (модель SDM), то фактор становится статистически незначимым при $p > 0,1$, то есть отсутствует влияние на смертность в рассматриваемом муниципалитете от количества выбросов, которое было в соседних муниципальных образованиях. *Вывод.* Построенные модели подтвердили наличие лишь прямого воздействия вредных выбросов (газообразных и жидких) в окружающую среду на уровень общей смертности и уровень смертности среди мужчин и отсутствие косвенного пространственного их влияния.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, моделирование уровня смертности, пространственная авторегрессия

SPATIAL MODELING OF MORTALITY AND AIR CONTAMINATION IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

¹R. A. Askarov, ²I. A. Lakman, ²L. F. Sadikova, ³A. O. Karelin, ⁴Z. F. Askarova

¹S. Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia; ²Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia; ³I. P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia;

⁴Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Ufa, Russia

The aim of the was to study quantitative effects of chemical pollution of atmospheric air by gaseous, liquid, solid substances on the overall population mortality in the Republic of Bashkortostan using mathematical models with spatial lags. *Methods.* The data were obtained from the official statistics from the Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Republic of Bashkortostan (table С 51 "Distribution of deceased by sex, age groups and causes of death"). The data from 54 municipalities and 21 towns of Bashkortostan from 2002 to 2015 were analysed. Spatial regression methods were applied. Moran and Geary coefficients were used to estimate the presence of spatial autocorrelation links; Spatial autoregressive (SAR) models were used to estimate the effect of emissions on mortality rates. *Results.* The best fit was provided by the SAR model, according to which, an increase in the number of emissions per 1 ton in a municipality is associated with an increase in the mortality for men by 2,33 cases per 1000. The corresponding data for the total population was 2,02 cases per 1000. However, according to the spatial lag (SDM model), no statistically significant effects on mortality was detected. *Conclusion.* Results of spatial modeling are in line with the findings on direct associations between gaseous and liquid emissions and total mortality and mortality among men in the same municipality. At the same time, we did not find the evidence indirect spatial influence on mortality.

Key words: air pollution, modeling of the mortality rate, spatial autoregression

Библиографическая ссылка:

Аскарлов Р. А., Лакман И. А., Садикова Л. Ф., Карелин А. О., Аскарлова З. Ф. Пространственное моделирование уровня смертности населения в зависимости от химического загрязнения атмосферного воздуха (на примере Республики Башкортостан) // Экология человека. 2019. № 4. С. 4–9.

Askarov R. A., Lakman I. A., Sadikova L. F., Karelin A. O., Askarova Z. F. Spatial Modeling of Mortality and Air Contamination in the Republic of Bashkortostan. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 4-9.

Охрана здоровья населения является одним из приоритетов государственной политики и важнейшим фактором национальной безопасности. Здоровье человека определяется сложным воздействием целого ряда факторов: наследственности, условий и образа жизни, качества окружающей среды, медицинского обслуживания. По подсчетам, около 20 % всех случаев смертности и до 25 % общего бремени болезней обусловлены экологическими факторами (ВОЗ, 2013). Республика Башкортостан (РБ) является одним из лидеров по концентрации экологически опасных производств в Европе. Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят предприятия топливно-энергетического комплекса, который включает в себя такие крупные отрасли промышленности, как нефтедобывающую, нефтеперерабатывающую, нефтехимическую, химическую и электроэнергетическую. В 2015 г. на территории республики насчитывается более 4 тыс. стационарных источников выбросов загрязняющих веществ от 1 077 предприятий. Разнообразные предприятия нефтехимического, химического, нефтеперерабатывающего, машиностроительного комплекса, металлообработки, теплоэнергетики и других обуславливают широкий набор вредных веществ, поступающих в воздушный бассейн и оказывающих неблагоприятное влияние на здоровье населения и состояние объектов окружающей среды. В атмосферном воздухе республики в результате эксплуатации промышленных предприятий и аграрного комплекса в 2015 г. содержались примеси 452 наименований, при этом основными загрязняющими веществами в выбросах являются газообразные и жидкие вещества (93 %), и доля выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в общем загрязнении атмосферного воздуха составляет около 50 % [5].

В настоящее время не вызывает сомнения, что глобальное загрязнение атмосферного воздуха сопровождается ухудшением состояния здоровья населения. В работах [5] показано, что неблагоприятные факторы окружающей среды, среди которых лидирующее место занимает загрязнение атмосферного воздуха в городах, являются второй по значимости причиной, определяющей уровень смертности населения. В связи с этим изучение влияния химического загрязнения атмосферного воздуха на уровень смертности населения, проживающего на урбанизированных и сельских территориях, представляется актуальным.

Авторами данного исследования ранее на основании панельного моделирования была обоснована необходимость учета пространственного лага при определении зависимостей между смертностью населения и экологическими факторами. Было показано отсутствие возможности построения панельной модели, имеющей асимптотически состоятельные оценки, по всем муниципальным образованиям. Однако при проведении предварительных процедур кластеризации муниципальных образований и городских округов удалось построить качественные панельные модели по каждому из кластеров в отдельности [1]. Полученный

результат позволил выдвинуть гипотезу о возможном влиянии пространственного распределения выбросов вредных веществ в окружающую среду на уровень смертности в районах РБ с возможным учетом пространственной авторегрессии самого показателя смертности.

Целью исследования стало выявление количественного влияния химического загрязнения атмосферного воздуха (выбросы газообразных, жидких, твердых веществ) на общую смертность населения Республики Башкортостан на основании построения моделей с учетом пространственного лага.

Методы

В качестве объекта настоящего исследования была принята вся территория РБ как объект регионального уровня площадью 143,6 тыс. км² с населением 4 071 064 человек (на 1 января 2016 г.) [2]. Рассматривались данные, состоящие из наблюдений по 54 муниципальным образованиям и 21 городам РБ, прослеженные в динамике за 14 лет (2002–2015). Территория республики отличается не только набором отраслей хозяйства, социально-экономической обстановкой, интенсивностью антропогенной нагрузки, но и заметно качеством здоровья населения. Динамика смертности в РБ имеет волнообразный характер, повторяя колебания динамики в Российской Федерации. В исследовании использованы официальные статистические материалы Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан «2ТП-Воздух» за 2000–2015 гг.; данные о числе умерших по таблице С 51 «Распределение умерших по полу, возрастным группам и причинам смерти» (2002–2015 гг.); государственных докладов «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан», «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации (РФ)» [5, 6]; Росстата [3].

В качестве весовой матрицы $W = (w_{ij})$ пространственного соизмерения, учитывающей уровень смертности в i -м муниципалитете частично через смертность в соседнем j -м муниципальном образовании была сформирована матрица обратных расстояний между i -м и j -м муниципалитетами. При проведении исследования были использованы методы пространственной авторегрессии: для оценки наличия пространственных автокорреляционных связей — коэффициенты Морана и Тири, для оценки влияния факторов выбросов на показатели смертности — модели пространственной панельной авторегрессии (модели пространственного лага, пространственная модель Дарбина, модель пространственной автокорреляции, модель с пространственным взаимодействием в ошибках). Пространственное моделирование проводилось в пакете для решения статистических задач Stata 13. На первом этапе исследования для выявления пространственных зависимостей показателей общей смертности с учетом распределения по муниципалитетам использовались глобальные индексы пространственной корреляции

Морана и Гири. Коэффициенты пространственной автокорреляции позволяют оценить, имеется ли кластеризация муниципалитетов с учетом распределения по показателю смертности, или они распределены случайно [7, 10]. Индекс Морана определяли по формуле:

$$I_M = \frac{N}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \cdot \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (D_i - \mu)(D_j - \mu)}{\sum_i (D_i - \mu)^2} \quad (1)$$

где N – число муниципалитетов республики; w_{ij} – элемент матрицы пространственных весов, учитывающий расстояние между i -м и j -м муниципальными образованиями; m – среднее значение показателя уровня смертности; D_i – показатель смертности в i -м муниципалитете.

Значение индекса Морана принимает значение в интервале (0, 1), причем при $I_M > 0$ ($I_M < 0$) имеется положительная (отрицательная) пространственная автокорреляция, а при $I_M = 0$ значения наблюдений в соседних территориях расположены случайным образом [11]. Статистическая значимость индекса Морана проверяется на основе стандартного z -критерия.

В отличие от индекса Морана индекс Гири изменяется от 0 до 2 и определяется по формуле:

$$I_G = \frac{N-1}{2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (D_i - \bar{D}_j)^2}{\sum_{i=1}^{nN} (D_i - \mu)^2} \quad (2)$$

Считается, что если показатель индекса Гири расположен в диапазоне от 0 до 1, то наблюдается положительная автокорреляция, при значениях в интервале от 1 до 2 – отрицательная автокорреляция.

На втором этапе исследования после установления целесообразности учета пространственных автокорреляционных связей с помощью индексов Морана и Гири проводится непосредственное пространственное регрессионное моделирование. Для учета пространственного влияния используется множество уравнений регрессий с различной спецификацией [10], но в настоящем исследовании применяли следующие модели в общем виде:

1) модели пространственного лага (SAR):

$$D_{it} = \rho W D_{it} + \beta_1 G_{it} + \beta_2 T_{it} + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2),$$

2) пространственная модель Дарбина (SDM):

$$D_{it} = \rho W D_{it} + \beta_1 G_{it} + \beta_2 T_{it} + \gamma_1 W G_{it} + \gamma_2 W T_{it} + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2),$$

3) модель пространственной автокорреляции (SAC):

$$D_{it} = \rho W D_{it} + \beta_1 G_{it} + \beta_2 T_{it} + u_{it}, \quad u_{it} = \delta W u_{it} + \varepsilon_{it},$$

4) модель с пространственным взаимодействием в ошибках (SEM):

$$D_{it} = \rho W D_{it} + u_{it}, \quad u_{it} = \delta W u_{it} + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2).$$

Здесь в моделях D_{it} – матрица показателей смертности в i -м муниципалитете в t -й период

времени, W – весовая пространственная матрица, ρ – пространственный коэффициент регрессии, G_{it} – агрегированный показатель выбросов (газообразных, жидких) тыс. т/год в i -м муниципалитете в t -й период времени, T_{it} – показатель твердых выбросов тыс. т/год в i -м муниципалитете в t -й период времени, $W G_{it}$ – показатель выбросов (газообразных и жидких) тыс. т/год с учетом пространственного распределения в i -м муниципалитете в t -й период времени, $W T_{it}$ – показатель твердых выбросов тыс. т/год с учетом пространственного распределения в i -м муниципалитете в t -й период времени, β и γ – оцениваемые коэффициенты регрессии, ε – случайная компонента, распределенная согласно нормальному закону, δ – пространственный коэффициент ошибки, u – случайная компонента.

Во всех моделях пространственной авторегрессии коэффициенты признавались статистически значимо отличными от нуля при уровне значимости $p < 0,05$, так же, как и коэффициенты пространственной автокорреляции Гири и Морана признавались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

После проведения первого этапа исследования по расчёту индексов пространственной автокорреляции с периодичностью четыре года, как по общей смертности всего населения, так и по выбросам загрязняющих веществ (газообразным и жидким, твердым), был сделан вывод о целесообразности проведения пространственного регрессионного моделирования в силу статистической значимости всех полученных коэффициентов (табл. 1, 2).

Таблица 1

Индексы Морана и Гири по показателям общей смертности всего населения

Индекс	2002	2005	2008	2012	2015
Общая смертность (оба пола)					
Moran's I	0,125** (p = 0,054)	0,086 (p = 0,163)	0,085* (p = 0,167)	0,030 (p = 0,537)	0,148** (p = 0,028)
Geary's c	0,862* (p = 0,080)	0,912 (p = 0,260)	0,928 (p = 0,367)	0,964 (p = 0,642)	0,846** (p = 0,044)
Смертность мужчин					
Moran's I	0,095 (p = 0,130)	0,072 (p = 0,233)	0,009 (p = 0,725)	0,013 (p = 0,690)	0,164*** (p = 0,016)
Geary's c	0,893 (p = 0,173)	0,932 (p = 0,381)	1,003 (p = 0,974)	0,974 (p = 0,736)	0,822** (p = 0,021)
Смертность женщин					
Moran's I	0,133** (p = 0,043)	0,072 (p = 0,228)	0,152** (p = 0,023)	0,002 (p = 0,807)	0,116* (p = 0,076)
Geary's c	0,845** (p = 0,047)	0,913 (p = 0,266)	0,862* (p = 0,076)	0,987 (p = 0,871)	0,886 (p = 0,135)

Примечание. Значимость коэффициентов на уровне: * – 10 %, ** – 5 %, *** – 1 %.

Таблица 2

Индексы Морана и Гири для загрязняющих веществ

Индекс	2002	2005	2008	2012	2015
Газообразные, жидкие загрязняющие вещества					
Moran's I	-0,017 (p = 0,576)	0,029 (p = 0,719)	0,037 (p = 0,743)	0,016 (p = 0,717)	0,017 (p = 0,728)
Geary's c	0,968 (p = 0,553)	0,918 (p = 0,675)	0,914 (p = 0,508)	0,940 (p = 0,495)	0,931 (p = 0,693)
Твердые загрязняющие вещества					
Moran's I	-0,039 (p = 0,984)	-0,034 (p = 0,277)	-0,028 (p = 0,226)	-0,030 (p = 0,499)	-0,034 (p = 0,447)
Geary's c	0,929 (p = 0,784)	0,955 (p = 0,486)	0,919 (p = 0,459)	0,917 (p = 0,597)	0,956 (p = 0,554)

Индексы Морана и Гири показали, что существует пространственная авторегрессионная зависимость уровня общей смертности как для женщин, так и для мужчин. В ходе работы также выявлена пространственная зависимость уровня общей смертности от количества газообразных и жидких выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Про-

странственной зависимости между твердыми загрязняющими веществами и уровнем общей смертности выявлено не было, поэтому данный тип выбросов не будет использоваться в качестве регрессора при построении моделей пространственного лага.

На втором этапе, исходя из полученных предварительных результатов, были построены панельные модели пространственного лага для выявления пространственной зависимости смертности от вредных выбросов в окружающую среду (табл. 3).

В качестве спецификации панельных уравнений пространственной регрессии использовали модели с фиксированными эффектами. Из результатов моделирования видно, что, несмотря на невысокое качество оценки модели (показатель пространственного коэффициента детерминации R^2_{within} далек от 1), все модели являются статистически значимыми, за исключением модели SAC для общей смертности среди женщин.

Из полученных результатов моделирования можно сделать вывод о том, что наличие пространственной автокорреляции в показателях смертности имеет место как для всего населения, так и для мужчин и женщин. Причем этот факт подтверждается при любой спецификации построенной модели, то есть существует

Таблица 3

Результаты пространственных моделей

Показатель	SAR	SDM	SAC	SEM
Оба пола				
Показатель выбросов (газообразных, жидких), GW	2,0226** (p = 0,045)	1,9524* (p = 0,061)	1,9314** (p = 0,037)	2,0194** (p = 0,037)
Показатель выбросов (газообразных, жидких) с учетом пространственного распределения, WGW	-	-1,7485 (p = 0,504)	-	-
Показатель качества модели R^2_{within}	0,046	0,049	0,050	0,049
Пространственный коэффициент авторегрессии δ	0,2792*** (p = 0,000)	0,2809*** (p = 0,000)	-0,2500 (p = 0,188)	-
δ пространственный коэффициент авторегрессии ошибки	-	-	0,46492*** (p = 0,000)	0,2805*** (p = 0,000)
Мужчины				
Показатель выбросов (газообразных, жидких), GW	2,3301* (p = 0,070)	2,3309* (p = 0,070)	2,3217* (p = 0,072)	2,2341* (p = 0,071)
Показатель выбросов (газообразных, жидких) с учетом пространственного распределения, WGW	-	0,0077 (p = 0,977)	-	-
Показатель качества модели R^2_{within}	0,044	0,044	0,043	0,043
Пространственный коэффициент авторегрессии δ	0,2970*** (p = 0,000)	0,2970*** (p = 0,000)	0,4593*** (p = 0,000)	-
δ пространственный коэффициент авторегрессии ошибки	-	-	-0,2211 (p = 0,249)	0,2972*** (p = 0,000)
Женщины				
Показатель выбросов (газообразных, жидких), GW	1,6879 (p = 0,178)	1,3570 (p = 0,270)	1,7371 (p = 0,143)	1,7348 (p = 0,159)
Показатель выбросов (газообразных, жидких) с учетом пространственного распределения, WGW	-	-1,4128 (p = 0,280)	-	-
Показатель качества модели R^2_{within}	0,069	0,062	0,034	0,041
Пространственный коэффициент авторегрессии δ	0,1364*** (p = 0,009)	0,1384*** (p = 0,000)	-0,2068 (p = 0,444)	-
λ пространственный коэффициент авторегрессии ошибки	-	-	0,3128 (p = 0,133)	0,1381*** (p = 0,009)

Примечание. Значимость коэффициентов на уровне: * – 10 %, ** – 5 %, *** – 1 %.

пространственное влияние показателей смертности в отношении на смертность в рассматриваемом муниципальном образовании. Интересно, что показатель выбросов (газообразных, жидких) в рассматриваемом муниципалитете оказывает статистически значимое влияние ($p = 0,038$) на общую смертность и смертность среди мужчин ($p = 0,041$), при этом для женщин данный фактор оказался статистически незначимым ($p = 0,134$). Наилучшей спецификацией пространственных моделей оказалась модель SAR, согласно которой при возрастании количества выбросов на 1 т в данном муниципалитете следует ожидать увеличения смертности среди мужчин 2,33 случая на 1 000 человек, всего населения муниципалитета – 2,02 случая на 1 000 человек. Однако если рассматривать фактор выбросов с учетом пространственного лага (модель SDM), то фактор становится статистически незначимым при $p = 0,181$, то есть отсутствует влияние на смертность в рассматриваемом муниципалитете того количества выбросов, которое было в соседних муниципальных образованиях.

Обсуждение результатов

На сегодняшний день существует множество исследований, посвященных оценке пространственного влияния экологических факторов на смертность и здоровье населения. На основе эмпирических исследований с использованием пространственной модели Дарбина (SDM) было показано, что имеются неблагоприятные последствия загрязнения атмосферного воздуха с учетом его пространственного распределения на смертность от рака легких и респираторных заболеваний [14]. Авторами установлено, что увеличение определенных выбросов на 10 000 т приводит к увеличению числа смертей от различных заболеваний, а также существуют пространственные различия между выбросами, влияющими на смертность от заболеваний [9]. В качестве инструмента статистического анализа использовалась модель ступенчатой регрессии (SRM) и модель географически взвешенной регрессии (GWRM). Результаты анализа пространственного кластера, проведенного [13], выявили две группы муниципалитетов с различными наборами социально-экономических факторов и уровнями риска сердечно-сосудистых заболеваний, связанных с воздействием выбросов от транспортных средств. В качестве статистического инструмента для оценки риска и геостатистического подхода авторы использовали модель квантильной регрессии и метод K-means для выполнения пространственного кластерного анализа. Также этими же авторами на основе последовательного применения кластерного анализа, проведенного методом K-средних и расчета пространственных индексов автокорреляции Гери-Отиса, было показано наличие пространственных зависимостей в росте уровня сердечно-сосудистых заболеваний от роста количества выбросов в атмосферу. В работе [12] были выделены пять групп муниципальных районов (пространственных кластеров) с четкими структурами выбросов и обнаружена значительная

связь между типами выбросов и шестью переменными, используемыми для оценки пространственных кластеров. Отечественные исследователи [4] также прибегали к применению инструмента пространственных моделей регрессии (SAR, SDM, SEM), что позволило им количественно объяснить отрицательное влияние на ожидаемую продолжительность жизни загрязнения атмосферного воздуха, а также в некоторых моделях загрязнения водных ресурсов.

Проведенное исследование позволило учесть пространственные автокорреляционные зависимости уровня общей смертности, в том числе в половом разрезе, от количества газообразных и жидких выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Индексы Морана и Гири, а также регрессионные модели пространственного лага показали, что смертность в муниципальном образовании зависит не только от уровня загрязнения окружающей среды газообразными и жидкими выбросами в самом муниципальном образовании, но и от загрязнения в соседних граничащих с ним районах, причем для твердых выбросов такая зависимость не регистрируется. В итоге были получены новые данные, позволяющие количественно измерить пространственные, в том числе и автокорреляционные, зависимости смертности от выбросов в окружающую среду, однако особый интерес будет представлять подобное исследование, проведенное с учетом видов веществ, выбрасываемых в атмосферу. Авторы планируют продолжить исследование в данном направлении,

Выводы

Полученные результаты подтвердили выдвигаемую гипотезу о том, что существует влияние пространственного распределения выбросов вредных веществ в окружающую среду на уровень смертности в районах РБ, лишь частично. Построенные модели подтвердили наличие лишь прямого воздействия выбросов вредных веществ в окружающую среду на уровень общей смертности и на уровень смертности среди мужчин и отсутствие косвенного пространственного их влияния. Все модели показали наличие пространственной автокорреляции уровня смертности, то есть существует корреляционная зависимость уровня смертности в муниципальном образовании от уровня смертности в муниципалитетах, имеющих с ним общую границу.

Авторство

Аскарков Р. А. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, выдвижение гипотез; Лакман И. А. провела математическое моделирование, подготовила интерпретацию полученных результатов; Садикова Л. Ф. участвовала в анализе данных, в том числе с использованием современных программных средств; Карелин А. О. окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Аскаркова З. Ф. участвовала в сборе информации и ее подготовке для проведения моделирования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Аскарков Расул Аскарлович – SPIN 2903-4272
Лакман Ирина Александровна – SPIN 4521-9097; ORCID 0000-0001-9876-9202

Садикова Лиана Флоритовна – ORCID 0000-0001-9250-5548

Карелин Александр Олегович – SPIN 5463-6538; ORCID 0000-0003-2467-7887

Аскарова Загира Фатхулловна – SPIN 6980-5134

Список литературы

1. Аскарлов Р. А., Лакман И. А., Шаранова А. В. Оценка влияния выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на смертность от рака легких в районах Республики Башкортостан на основе панельного моделирования // Электронный научно-образовательный вестник «Здоровье и образование в XXI веке». 2016. Т. 18 (8). С. 1–6. URL: https://e-pubmed.co.uk/gallery/online_2016_18_8_p.1-6.pdf (дата обращения: 01.12.2018).

2. Демографические процессы в Республике Башкортостан: статистический сборник. Уфа: Башкортостанстат, 2016. 116 с.

3. Демографический ежегодник России. 2015: статистический сборник. М.: Росстат, 2016. 264 с.

4. Жукова А. К., Силаев А. М., Силаева М. В. Анализ ожидаемой продолжительности жизни с учетом пространственной зависимости по регионам России // Пространственная экономика. 2016. № 4. С. 112–128.

5. О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2015 году: государственный доклад. Уфа, 2016. URL: <https://www.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/439418> (дата обращения: 17.04.2018).

6. Охрана окружающей среды в России: статистический сборник. М.: Росстат, 2016. 95 с.

7. Павлов Ю. В., Королева Е. Н. Пространственные взаимодействия: оценка на основе глобального и локального индексов Морана // Пространственная Экономика. 2014. № 3. С. 95–110.

8. Ревич Б. А., Авалиани С. Л., Тихонова Г. И. Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека: пособие по региональной экологической политике. М.: Акрополь, ЦЭПР, 2004. 268 с.

9. Haixia Pu, Jiatian Li, Pin Wang, Linlin Cui, Huaxin Wang The death of the circulatory system diseases in China: provincial socioeconomic and environmental perspective // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24, Issue 11. P. 10381–10390.

10. Introduction to Spatial Analysis. Invited Lecture. Population Science and GIS Workshop. UC Santa, 2006.

11. Lesage J. P., Pace R. K. Introduction to spatial econometrics. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009.

12. Requía W. J., Roig H. L., Koutrakis P., Adams M. D. Modeling spatial patterns of traffic emissions across 5570 municipal districts in Brazil // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 148. P. 845–853.

13. Weeberb J. Requía, Petros Koutrakis, Henrique L. Roig, Matthew D. Adams Association between vehicular emissions and cardiorespiratory disease risk in Brazil and its variation by spatial clustering of socio-economic factors // Air Quality, Atmosphere & Health 2017. Vol. 10, Issue 10. P. 1259–1267.

14. Xiaoyu Chen, Shuai Shao, Zhihua Tian, Zhen Xie, Peng Yin Impacts of air pollution and its spatial spillover effect on public health based on China's big data sample // Journal of Cleaner Production 2017. Vol. 142, Pt 2. P. 915–925.

References

1. Askarov R. A., Lakman I. A., Sharanova A. V. Assessment of the impact of pollutant emissions in the atmosphere

on lung cancer mortality in the regions of the Republic of Bashkortostan based on panel modeling. *Elektronnyy nauchno-obrazovatel'nyy vestnik Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke* [Electronic scientific and educational bulletin Health and education in the XXI century]. 2016, 18 (8), pp. 1-6. Available from: https://e-pubmed.co.uk/gallery/online_2016_18_8_p.1-6.pdf (accessed: 01.12.2018). [In Russian]

2. *Demographic processes in the Republic of Bashkortostan*. Statistical compilation. Ufa, Bashkortostanstat, 2016, 116 p. [In Russian]

3. *Demographic Yearbook of Russia*. 2015. Statistical compilation. Moscow, Rosstat, 2016, 264 p. [In Russian]

4. Zhukova A. K., Silaev A. M., Silaeva M. V. Analysis of Life Expectancy with Account of Spatial Dependence by Regions of Russia. *Prostranstvennaya Ekonomika* [Spatial Economics]. 2016, 4, pp. 112-128. [In Russian]

5. *State report "On the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan in 2015"*. Ufa, 2016. Available at: <https://www.bashkortostan.ru/presscenter/lectures/439418> (accessed: 17.04.2018). [In Russian]

6. *Environmental protection in Russia*. Statistical compilation. Moscow, Rosstat, 2016, 95 p. [In Russian]

7. Pavlov Yu. V., Koroleva E. N. Spatial interactions: estimation based on global and local Moran indices. *Prostranstvennaya Ekonomika* [Spatial Economics]. 2014, 3, pp. 95-110. [In Russian]

8. Revich B. A., Avaliani S. L., Tikhonova G. I. *Osnovy otsenki vozdeystviya zagryaznennoy okruzhayushchey sredy na zdorov'e cheloveka. Posobie po regional'noy ekologicheskoy politike* [Basics of assessing the impact of the polluted environment on human health. A handbook on regional environmental policy]. Moscow, Acropolis, CEPR Publ., 2004, 268 p.

9. Haixia Pu, Jiatian Li, Pin Wang, Linlin Cui, Huaxin Wang The death of the circulatory system diseases in China: provincial socioeconomic and environmental perspective. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017, 24 (11), pp. 10381-10390.

10. Introduction to Spatial Analysis. Invited Lecture. *Population Science and GIS Workshop*. UC Santa, 2006.

11. Lesage J. P., Pace R. K. *Introduction to spatial econometrics*. Boca Raton, FL, CRC Press, 2009.

12. Requía W. J., Roig H. L., Koutrakis P., Adams M. D. Modeling spatial patterns of traffic emissions across 5570 municipal districts in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 2017, 148, pp. 845-853.

13. Weeberb J. Requía, Petros Koutrakis, Henrique L. Roig, Matthew D. Adams Association between vehicular emissions and cardiorespiratory disease risk in Brazil and its variation by spatial clustering of socio-economic factors. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2017, 10 (10), pp. 1259-1267.

14. Xiaoyu Chen, Shuai Shao, Zhihua Tian, Zhen Xie, Peng Yin Impacts of air pollution and its spatial spillover effect on public health based on China's big data sample. *Journal of Cleaner Production*. 2017, 142 (2), pp. 915-925.

Контактная информация:

Лакман Ирина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Адрес: 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12

E-mail: lackmania@mail.ru

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТИ В ПРИРОДНЫХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ СРЕДАХ КАРЕЛИИ

© 2019 г. А. В. Горбунов, С. М. Ляпунов, Б. В. Ермолаев

ФГБУН «Геологический институт Российской академии наук», г. Москва

Цель работы – изучение накопления ртути в основных естественных природных и урбанизированных средах Карелии и оценка возможных источников поступления ртути в организм человека. *Методы.* Был произведен отбор образцов почв, растительности, воды поверхностных водотоков, донных отложений и представителей биоты (рыбы). Всего было отобрано около 200 образцов. Анализ отобранного материала проводился методом атомной абсорбции с «холодным» паром. На основании этого анализа были построены графики распределения ртути в почве, листьях березы, сфагновых мхах и лишайниках в генеральном направлении профиля юго-запад – северо-восток. *Результаты.* Показано, что уровни накопления ртути в почве и растительности в исследованных городах не превышают принятых в России нормативов и близки к фоновым. Также близки к фоновым и значения концентрации ртути в воде и донных отложениях. Изучены статистические данные о потреблении рыбы населением г. Петрозаводска и г. Медвежьегорска. Отмечено принципиальное различие в структуре потребления рыбы населением этих городов. Оценена концентрация ртути в мышцах рыб, наиболее потребляемых в Петрозаводске и Медвежьегорске. Расчет поступления ртути показал, что существует 3-кратная разница в годовом поступлении ртути в организм человека за счет различий в структуре потребления рыбы в этих городах. *Выводы.* Внешние факторы не приводят к повышению концентрации ртути в основных естественных природных и урбанизированных средах Карелии. Высокая концентрация ртути в биологических материалах у людей в Медвежьегорском районе обусловлена особенностью рациона питания местного населения – преобладанием в рационе питания хищных пресноводных рыб (щука, окунь, судак), выловленных непосредственно в Онежском озере.

Ключевые слова: ртуть, природные и урбанизированные среды, накопление, организм человека, рыба

DISTRIBUTION OF MERCURY IN NATURAL AND URBAN ENVIRONMENTS OF KARELIA, NORTHWEST RUSSIA

A. V. Gorbunov, S. M. Lyapunov, B. V. Ermolaev

Geological Institut, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Purpose. We studied accumulation of mercury in the main natural and urban environments of Karelia, Northwest Russia, and assessed potential sources of mercury in a human body. *Methods.* A total of 200 samples of soil, vegetation, water, surface water, sediments and fish were collected. An analysis of samples was carried out by cold steam atomic absorption method. Diagrams of mercury distribution in soil, birch leaves and lichens were created. Data on fish consumption by the population of Petrozavodsk and Medvezhyegorsk are studied. The concentration of mercury in fish muscles most consumed in Petrozavodsk and Medvezhyegorsk was estimated. *Results.* Levels of mercury accumulation in soil and vegetation in the studied settings do not exceed the standards adopted in Russia. The same was observed for mercury concentration in water and sediments. Calculation of mercury intake showed that there is a 3-fold difference in the annual intake of mercury in the human body due to differences in the structure of fish consumption in these cities. *Summary.* External factors do not lead to higher concentrations of mercury in the main natural and urban environments of Karelia. High concentration of mercury in biological samples of pregnant women in the Medvezhyegorsk district is due to the peculiarities of the diet of the local population - the predominance in the diet of freshwater fish (pike, perch, pike perch) caught directly in the Onega lake.

Key words: mercury, natural and urban environments, accumulation, human body, fish

Библиографическая ссылка:

Горбунов А. В., Ляпунов С. М., Ермолаев Б. В. Распределение ртути в природных и урбанизированных средах Карелии // Экология человека. 2019. № 4. С. 10–17.

Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Ermolaev B. V. Distribution of Mercury in Natural and Urban Environments of Karelia, Northwest Russia. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 10-17.

Ртуть и ее соединения являются высокотоксичным, кумулятивным ядом, поражающим кроветворную, ферментативную, нервную системы и почки [10, 16]. Ртуть относится к числу элементов, постоянно присутствующих в окружающей среде и живых организмах [5, 15]. Метилированная форма ртути из-за большей растворимости в жирах легко проходит через биологические мембраны, проникает через плаценту и воздействует на развивающиеся эмбрион и плод [12]. При поступлении в организм

из окружающей среды ртуть распределяется по органам и субклеточным структурам, больше всего она обнаруживается в крови, печени, почках и головном мозгу. При остром отравлении ртутными соединениями вследствие поражения почек наступает полное прекращение мочеотделения, в организме накапливаются вредные вещества, усугубляющие тяжелое состояние, что приводит к смертельному исходу через 5–6 дней. Выделение ртути из организма осуществляется различными путями, но очень медленно: через

желудочно-кишечный тракт (18–20 %), почками (40 %), слюнными железами (20–25 %). ФАО и ВОЗ установлена недельная безопасная доза поступления общей ртути — 5 мкг на килограмм массы человеческого тела (метилртути — 3,3 мкг/кг), токсическое действие возникает при поступлении 0,4 мг/сутки. В бытовых условиях основные пути воздействия ртути на человека связаны с парами ртути, в несколько меньшей степени с поступлением с продуктами питания и питьевой водой [10]. Уровень поступления ртути в организм человека зависит от природных и антропогенных факторов: атмосферных выпадений в результате общей дегазации земной коры и океанов, вулканической деятельности, а также наличия промышленности, связанной с использованием ртути в технологическом процессе.

Республика Карелия является одним из немногих регионов России, где природная среда находится в достаточно хорошем состоянии. Относительно небольшое количество технических предприятий, отсутствие значительных месторождений полезных ископаемых и малая плотность населения оказывают небольшую нагрузку на городскую и природную среду. Согласно Государственному докладу о состоянии окружающей среды Республики Карелия за 2014 год [4] воздействия антропогенной ртути на природную среду Карелии не зафиксировано. Тем не менее в 2016 году под эгидой ВОЗ был проведен биомониторинг женщин-рожениц из перинатальных центров Республики Карелия (координатор проекта И. Н. Ильченко). В результате проведения этих исследований было выявлено, что концентрация ртути в волосах беременных женщин и пуповинной крови, полученной при родах в роддомах Медвежьегорского района, значительно превышают биологическую норму, а в некоторых случаях превышают и токсичный порог (в максимальных значениях) [11]. Так, например, средняя концентрация ртути в биоматериалах беременных женщин в Медвежьегорске, Пиндушах и Повенце в 3–3,5 раза выше, чем в Петрозаводске и городах юго-запада Карелии. Такое различие позволяло предположить, что существует местный, или региональный, источник, воздействие которого привело к появлению аномально высоких концентраций ртути в биологических материалах беременных женщин Медвежьегорского района. Поиск источника этого воздействия не входил в вышеупомянутую программу биомониторинга человека. Это могли быть атмосферические выпадения природного или антропогенного характера, золотой разнос твердых техногенных отходов, сброс техногенных или бытовых сточных вод в озера — источники водоснабжения, и т. д.

Целью настоящей работы было изучение уровня концентрации ртути в основных природных и урбанизированных средах южных и центральных районов Карелии и оценка на основании полученных данных возможных источников поступления ртути в организм человека в Медвежьегорском районе.

Методы

Отбор образцов проводился в течение летнего сезона 2017 года на территории восьми городов Карелии — Олонца, Питкяранты, Сортавалы, Суоярви, Петрозаводска, Медвежьегорска, Пиндушей и Повенца. Отбирались образцы основных транспортирующих и депонирующих сред — почвы, воды поверхностных водотоков, донных отложений. В качестве индикаторов загрязнения атмосферного воздуха в городских условиях использовались листья березы повислой *Betula pendula*, в естественных природных условиях для этой же цели использовался сфагновый мох *Sphagnum* и лишайник *Cladonia rangiferina* (ягель, «олений мох»). В естественных природных условиях отбор образцов проводился в генеральном направлении юго-запад — северо-восток с шагом 30–50 км. В Ладожском и Онежском озерах производился вылов рыбы — окуня, судака, щуки и леща. Расположение точек отбора образцов показано на рис. 1.

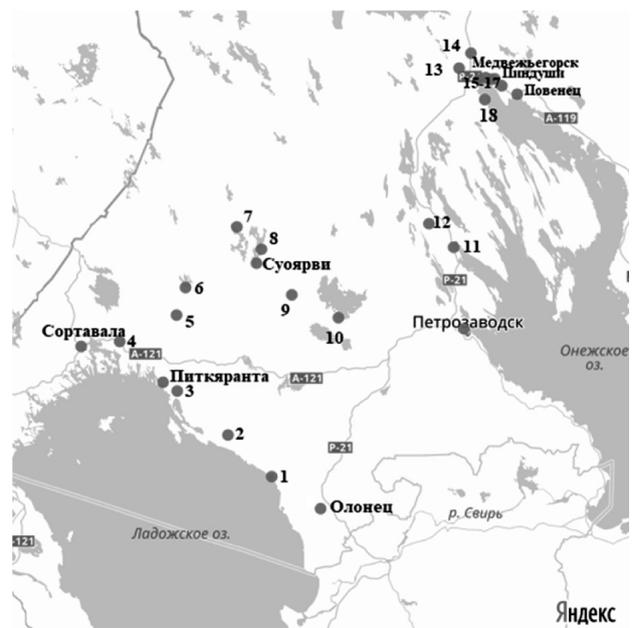


Рис. 1. Схема отбора образцов

Почва. В городах и поселках образцы почвы отбирались из расчета один образец на 1 км² площади города (в Петрозаводске образцы отбирались на набережной и в центральной части города). В естественных природных условиях образцы отбирались с шагом 30–50 км на расстоянии не менее 300 м от дороги. Шаг отбора варьировал в достаточно широком диапазоне. Общее направление профиля отбора юго-запад — северо-восток. Пробы отбирались пластиковым инструментом на площадке 5×5 м с глубины 5–10 см методом конверта. Объединенную пробу составляли путем смешивания пяти точечных проб, отобранных на одной площадке. Масса объединенной пробы составляла 0,5–0,8 кг [2, 7, 9]. Пробы высушивались при комнатной температуре и ситовались до крупности зерна 1 мм. Истирание образцов не проводилось.

Растительность. Одновременно с отбором проб почвы на тех же площадках отбирались образцы растительности. На территории городов и городских поселений в качестве образцов растительности использовались листья березы. Отбор осуществлялся с ветвей, расположенных на высоте 1,7–2,0 м от поверхности земли. В естественных природных условиях отбирались сфагновые мхи (*Sphagnum*) и лишайники (*Cladonia rangiferina*). Отбор образцов мхов и лишайников проводился в достаточно высоких (высокие кочки, небольшие возвышенности) местах. Мхи и лишайники – наименее требовательные к минеральному питанию болотные растения. Они довольствуются минеральными веществами, которые поступают на поверхность почвы из атмосферы, используя осмотическое давление. Это означает, что они одновременно поглощают все содержащиеся в атмосферных осадках вещества, не обладая механизмами освобождения от них. Именно поэтому они эффективно адсорбируют микроэлементы, включая тяжелые и токсичные металлы, из атмосферного воздуха и являются прекрасными индикаторами состояния окружающей среды. Отбирались части ветви мха или лишайника, которые соответствовали 3-летнему росту растения (примерно 5 см от конца ветви). Отмывание образцов не проводилось. Пробы высушивались при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянного веса и измельчались. Масса образцов в воздушно-сухом состоянии составляла 15–20 г.

Вода, донные отложения. При отборе проб воды и донных отложений определялась степень загрязнения ртутью воды в пределах территории исследуемых городов, вблизи мест с активной антропогенной деятельностью или в местах слабого водообмена – в заливах, заводях, затонах. Посуда, используемая при отборе проб, обрабатывалась 10 % раствором азотной кислоты, тщательно промывалась водопроводной водой, нейтрализовалась 2 % раствором бикарбоната натрия и 3–4 раза промывалась дистиллированной водой [3, 8]. Перед забором проб сосуды ополаскивались не менее трех раз отбираемой водой, пробы воды объемом не менее 200 см³ отбирали в емкости из стекла. Отбиралась поверхностная вода на расстоянии 2–5 м от береговой линии, там же отбирались пробы донных отложений с глубины 1,0–1,5 м. Для определения общего (валового) содержания ртути сразу после отбора пробы воды подкисляли концентрированной азотной кислотой, из расчета 3,5–4 см³ концентрированной HNO₃ на 1 дм³ пробы. Поскольку в нашем случае анализ отобранных образцов проводился спустя 15–30 суток после отбора, кроме азотной кислоты добавляли 5 % раствор марганцовокислого калия до розовой окраски пробы (4–5 см³ на 1 дм³ пробы). В табл. 1 приведены координаты и характеристики точек отбора образцов воды и донных отложений.

Рыба. В течение июля 2017 года в Ладужском и Онежском озерах проводился отлов окуня, щуки, судака и леща. В основном отлов производился непо-

Таблица 1

Координаты точек отбора образцов воды и донных отложений

Координата точки отбора		Характеристика места отбора
С. Ш.	З. Д.	
60.980.322	32.957.443	Слияние р. Олонки и р. Мегрега, г. Олонец
61.135.894	32.492.140	Ладужское оз. устье р. Тулоксы
61.490.380	31.599.798	Ладужское оз. устье р. Уксунийоки
61.571.169	31.458.986	Ладужское оз. наб. г. Питкяранта
61.700.168	30.689.546	Ладужское оз. г. Сортавала, зал. Ляппярви
61.873.715	31.615.744	Оз. Усуярви
62.172.715	32.272.936	Оз. Салонъярви
62.085.950	32.362.384	Оз. Суоярви наб. г. Суоярви
62.156.265	32.362.384	Оз. Суоярви
61.859.009	33.239.644	Оз. Сямозеро
61.812.573	34.330.666	Онежское оз. наб. г. Петрозаводск
62.959.186	34.272.842	Оз. Крестовое Лампи
62.901.915	34.456.267	Онежское оз. наб. г. Медвежьегорск
62.907.158	34.562.116	Онежское оз. пос. Пиндуши
62.839.311	34.821.119	Онежское оз. пос. Повенец

Примечание. С. Ш. – северная широта, З. Д. – западная долгота.

средственно участниками данного проекта, частично недостаток рыбы восполнялся покупкой у местных рыбаков. Образцы отбирались в полиэтиленовые пакеты типа зип-лок, очищались от внешних загрязнений и промывались дистиллированной водой. Для длительной транспортировки образцы замораживались при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. При подготовке к анализу рыбу размораживали и помещали в эмалированные кюветы, после этого вырезали с левой стороны, начиная от спинного плавника до начала ребер, вдоль тела 2–4 г скелетных мышц. Весь инструмент и стеклянную посуду мыли 5–10 % азотной кислотой и ополаскивали дистиллированной водой.

Анализ образцов. Образцы почвы, донных отложений и растительности высушивались при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянного веса. Образцы рыбы поступали на анализ с естественным процентом влажности. Определение концентрации ртути проводилось методом атомной абсорбции с «холодным» паром в лаборатории ГИН РАН (Москва). Использовался анализатор ртути «Юлия-5К» (НПО «Метрология», Россия). Контроль качества результатов анализа проводили с помощью анализа «холостых» проб, стандартных и контрольных образцов биологических материалов, аттестованных на содержание ртути. Использовались стандартные образцы состава – IAEA-407, IAEA-452, IAEA-436. Перечисленные стандарты анализировались в ходе рутинного анализа совместно с исследуемыми пробами. Предел определения концентрации ртути в образцах почвы, растительности, донных отложений и рыбы составлял 0,1 мкг/кг (ppb), для образцов воды – соответственно 0,01 мкг/л (ppb).

Статистическая обработка полученных данных проводилась стандартными методами при помощи программы Minitab 16.

Результаты

В табл. 2 приведены данные о концентрации ртути, кислотности почвы и зольности в восьми городах Карелии. Кислотность почв в городах изменяется от сильно кислой почвы (рН = 2,9) до нейтральной (рН = 7,2), средние значения кислотности расположены в диапазоне средне – слабокислые (рН = 4,82–6,1).

Таблица 2

Концентрация ртути в почве и растительности в городах Карелии, воздушно-сухой вес, мкг/кг (ppb)

Объект	Почва		Лист березы	
	Кислотность рН	Концентрация Hg	Зольность, %	Концентрация Hg
г. Олонец, п=5	6,08 (5,8–6,3)	37 (27–57)	4,2 (4,05–4,29)	23 (16–37)
г. Питкяранта, п=5	5,48 (4,3–6,7)	81 (41–180)	4,09 (4,01–4,15)	20 (15–20)
г. Сортавала, п=7	5,49 (5,0–6,6)	99 (31–147/7500)	4,66 (4,35–4,98)	18 (12–22)
г. Суоярви, п=5	6,1 (3,1–7,2)	89 (52–175)	3,56 (3,22–4,05)	19 (12–27)
г. Петрозаводск, п=9	4,82 (2,9–5,9)	489 (97–1074)	4,37 (3,9–4,67)	13 (11–16)
г. Медвежьегорск, п=7	5,26 (4,1–6,1)	98 (27–285)	4,69 (4,57–4,75)	20 (14–29)
г. Пиндуши, п=5	6,05 (5,8–6,4)	21 (16–30)	4,15 (3,98–4,26)	16 (12–18)
г. Повенец, п=5	5,42 (4,3–6,5)	61 (17–107)	2,95 (2,66–3,05)	11 (9–13)
Запов. Кивач, фон (т. №12)	4,4	25,3	2,93	11

В среднем содержание ртути в почве в пределах допустимой концентрации (ПДК = 2 100 мкг/кг (ppb)), однако в г. Сортавала в одной точке, отобранной в сквере на берегу залива Ляппярви, отмечено превышение концентрации ртути над ПДК в 3,6 раза, фоновые значения превышены в 296 раз. При этом следует отметить, что в образце растительности, отобранном в этой же точке, превышения концентрации ртути не обнаружено. Видимо, имеет место точечная аномалия, связанная с бытовым загрязнением ртутью. Следует отметить также высокую концентрацию ртути в почве Петрозаводска (С Hg max = 1 074 ppb, С Hg med = 489 ppb). Эти значения не превышают ПДК, но значительно превышают фоновые. Важным фактором, позволяющим получить представление о степени техногенного загрязнения атмосферного воздуха, является зольность растительности. Зольность характеризует осаждение на поверхность листьев аэрозольной составляющей атмосферного воздуха и газопоглодительную способность растений. Следовательно, зольность является прямым индикаторным признаком загрязнения атмосферы, отражающим общее количество аэрозолей в атмосферном воз-

духе. Нормальные значения зольности для листьев березы находятся в диапазоне 3–6 %. Зольность листьев, отобранных в заповеднике Кивач, принятом нами за фон, составляет 2,93 %. Зольность листьев, отобранных в городах, находится в пределах нормы: 3–4,9 %.

В табл. 3 приведены данные о концентрации ртути в почве, мхах и лишайниках, отобранных в естественных природных условиях, а также значения кислотности почв и зольности мхов и лишайников. Следует отметить, что почвы, представленные в табл. 3, относятся к кислым или сильно кислым, что существенно отличает их от почв, отобранных в городах (см. табл. 2), концентрация ртути практически во всех представленных образцах существенно ниже значения ПДК. Зольность мхов и лишайников может варьировать в значительных пределах (в некоторых случаях до 30 %) в зависимости от состояния атмосферного воздуха. Данные, представленные в табл. 3, показывают, что зольность мхов и лишайников в среднем находится в пределах нормы. Концентрация ртути также не представляется аномально высокой.

Таблица 3

Концентрация ртути в почве, мхах и лишайниках Карелии, воздушно-сухой вес, мкг/кг

Точка отбора	Почва		Мох сфагнум		Лишайник	
	Кислотность рН	Концентрация Hg	Зольность, %	Концентрация Hg	Зольность, %	Концентрация Hg
1	3,5	25	2,62	87	3,17	62
2	3,8	65	6,94	102	3,25	88
3	3,7	200	5,71	107	4,31	100
4	3,7	290	7,15	106	3,36	95
5	4,1	47	7,07	77	2,88	53
6	4,1	80	2,83	48	1,01	26
7	3,1	111	2,6	81	1,07	25
8	3,8	46	9,89	146	4,63	121
9	4,2	33	3,21	58	2,32	45
10	2,7	101	5,84	112	1,67	44
11	3,1	105	5,15	122	3,56	109
12*	4,4	25,3	3,07	42	1,06	25
13	3,8	63,2	2,23	58	1,12	38
14	3,3	45,1	2,98	45	1,98	31
15	2,9	44,1	3,67	42	2,01	33
16	4,1	44,2	3,39	57	2,31	42
17	4,9	19,5	5,16	64	1,79	29
18	3,9	22,3	3,45	51	2,18	25

Примечание. * – заповедник Кивач (фон).

Для почвы, листьев березы, мхов и лишайников были рассчитаны значения коэффициента концентрации Kс:

$$K_c = K_i / K_f,$$

где: K_i – концентрация ртути в i-м образце; K_f – концентрация ртути в фоновом образце (в нашем

случае в образцах почвы и растительности из заповедника Кивач).

На рис. 2 показано распределение значений Кс для почвы и листьев березы в городах Карелии. Распределение Кс показывает, что в наибольшей степени загрязнены почвы Петрозаводска – в них средняя концентрация ртути почти в 20 раз больше, чем в фоновом образце. Следует отметить, что аномалия ртути относится только к почве, в листьях березы повышенной концентрации ртути не обнаружено, корреляция между концентрацией ртути в почве и концентрацией в листьях березы отсутствует ($r = -0,428, p = 0,291$). Это позволяет предположить, что: а) ртуть в почве Петрозаводска находится в труднодоступной для растительности форме; б) поскольку концентрация ртути в листьях березы практически равна фоновой, атмосферическое воздействие ртути на урбанизированную среду Петрозаводска отсутствует.

Следует особо отметить, что в городах Медвежьегорского района (Медвежьегорск, Пиндуши, Повенец) концентрация ртути в почве и растительности равна фоновым значениям или близка к ним.

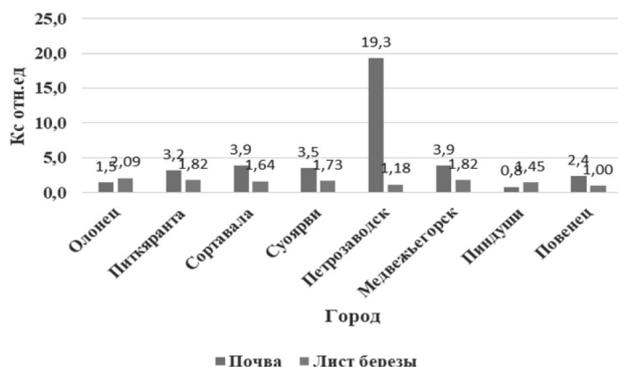


Рис. 2. Распределение концентрации ртути в почве и растительности в восьми городах Карелии

На рис. 3 представлены графики распределения Кс Hg в почве, мхах и лишайниках в естественных природных условиях по общему профилю юго-запад – северо-восток (точки 1–18). Эти графики показывают, что наибольшая концентрация ртути в почве, мхах и лишайнике характерна для южных районов (точки 3, 4, 7), а на северо-востоке, т. е. в Медвежьегорском районе, Кс Hg равен 1 или близок к ней

В табл. 4 приведены данные об уровне кислотности и концентрации ртути в воде и донных отложениях рек и озер Карелии (координаты точек отбора образцов приведены в табл. 1). ПДК ртути для вод хозяйственно-бытового назначения равно 0,005 мг/л (5 мкг/л). Данные, приведенные в табл. 4, показывают, что концентрации ртути в воде городов Карелии не превышают значения ПДК для данного типа водоемов. Более того, эти значения не превышают и значение ПДК для питьевой воды – 0,0005 мг/л (0,5 мкг/л). Концентрация ртути в

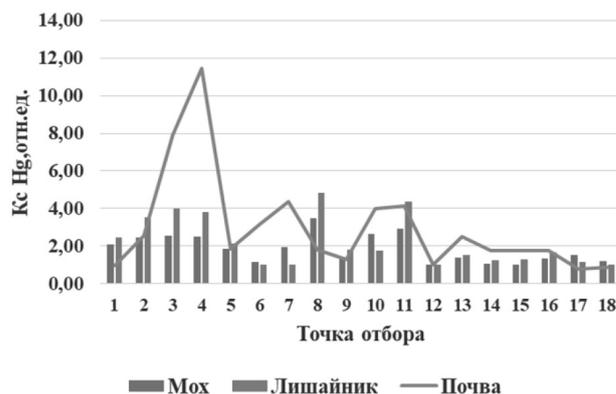


Рис. 3. Распределение концентрации ртути в почве, мхах и лишайниках

донных отложениях находится в пределах 7 ÷ 40 мкг/кг (в Медвежьегорске – 116 мкг/кг), что в среднем ниже или равно аналогичной концентрации в почве. Следует отметить, что повышенная концентрация ртути в донных отложениях в Медвежьегорске соответствует минимальной концентрации ртути в воде. Оценка кислотности воды показывает, что вода рек Олонки и Мегрега и вода в устье р. Уксунйоки при впадении в Ладожское озеро является слабо кислой. Воду Ладожского, Онежского озер и озер Ууксуярви,

Таблица 4
Концентрация ртути и значение pH в воде озер Карелии

Место отбора образца	Концентрация Hg		Кислотность pH воды
	Донные отл. мкг/кг (ppb)	Вода мкг/л (ppb)	
Слияние р. Олонки и р. Мегрега, г. Олонек	8,3	0,021	5,02 (4,85–5,12)
Ладожское оз. устье р. Тулоксы	7,1	0,016	7,09 (7,01–7,15)
Ладожское оз. устье р. Уксунйоки	22	0,054	5,01 (4,61–5,33)
Ладожское оз. наб. г. Питкяранта	12	0,024	7,89 (7,85–7,92)
Ладожское оз. г. Сортавала, зал. Ляппяярви	32	0,056	7,92 (7,71–8,12)
Оз. Ууксуярви	28	0,039	7,53 (7,31–7,72)
Оз. Салонъярви	19	0,065	7,78 (7,65–7,9)
Оз. Суоярви наб. г. Суоярви	19	0,088	7,89 (7,85–7,93)
Оз. Суоярви	16	0,039	7,68 (7,65–7,71)
Оз. Сямозеро	12	0,035	8,08 (8,01–8,22)
Онежское оз. наб. г. Петрозаводск	41	0,039	6,33 (6,29–6,37)
Оз. Крестовое Лампи	6,2	0,022	6,2 (6,18–6,22)
Онежское оз. наб. г. Медвежьегорск	116	0,017	7,91 (7,88–7,95)
Онежское оз. пос. Пиндуши	37	0,039	7,68 (7,62–7,73)
Онежское оз. пос. Повенец	59	0,025	7,47 (7,42–7,51)

Салонъярви, Суоярви, Сямозера и Крестовое-Лампи можно охарактеризовать как нейтральную.

Обсуждение результатов

Концентрация ртути в почве, растительности, воде поверхностных водотоков, используемых в качестве источников питьевой воды, а также в донных отложениях, не превышает значения ПДК (за исключением одной пробы почвы в г. Сортавала). Во всех обследованных городах концентрация ртути в этих средах равна фоновым значениям или незначительно отличается от них. Исключение составляют почвы Петрозаводска, где значения концентрации ртути не превышают ПДК, но значительно превышают фоновые значения, что объясняется повсеместным использованием компостов в скверах и на газонах города. Графики, построенные по значениям $KcHg$ в почве и растительности (рис. 2, 3), показывают, что максимальные значения концентрации ртути в этих средах характерны для южных районов Карелии, а при продвижении к северу равны или приближаются к 1 как в городских, так и в естественных природных условиях. Это совершенно не согласуется с данными биомониторинга человека [11], где при продвижении к северо-востоку значительно увеличивается концентрация ртути в биологических материалах беременных женщин. Этот факт позволяет нам утверждать, что высокая концентрация ртути в биоматериалах беременных женщин в Медвежьегорском районе не связана с какими-либо внешними воздействиями.

В настоящее время все больше исследователей приходят к убеждению, что основным путем поступления ртути (при отсутствии техногенного воздействия) в организм человека является поступление ее с пищей, в частности с рыбой [1, 13, 14, 17]. Накопление ртути в рыбе напрямую зависит от поступления ртути в водоемы и в Карелии обусловлено в основном природными факторами. После поступления в водоем преобразование ртути происходит по трем основным направлениям: она восстанавливается до элементарного состояния и улетучивается в атмосферу; образует прочные нерастворимые соединения (сульфиды) и откладывается в донных отложениях; сорбируется на поверхности бактериальных мембран и переходит в ртутьорганическое соединение (метилртуть). Метилртуть, накапливаясь в обитающих в воде организмах — растениях, бентосе, животных, в конечном итоге концентрируется в верхних звеньях трофической пищевой цепи — рыбе [18].

С учетом всего вышеизложенного высокая концентрация ртути в биологических материалах беременных женщин в Медвежьегорском районе, видимо, обусловлена особенностью рациона питания местного населения. В качестве города сравнения для Медвежьегорска был использован Петрозаводск, где концентрация ртути в биоматериалах минимальна. Изучение статистических данных показало практическую идентичность потребления

как продуктов питания, так и объема потребления рыбы в этих городах (около 28 кг/год на человека). Однако изучение структуры потребления рыбы населением в этих городах показало значительные различия [6]. В дополнение к литературным данным о структуре потребления рыбы в процессе проведения настоящей работы в этих городах был проведен анонимный блиц-опрос местных жителей (по принципу случайной выборки). Результаты этих исследований представлены на рис. 4. Как показывают приведенные графики, существует принципиальная разница в потреблении рыбы в этих городах. В Петрозаводске структура потребления рыбы практически не отличается от средней по России. В основном это потребление недорогих морских сортов рыбы — сельди, минтая, лососевых, трески. В Медвежьегорске и поселках городского типа — Пиндушах и Повенце акцент потребления рыбы смещен в сторону пресноводных хищников — окуня, судака, щуки, которые вылавливаются непосредственно в Онежском озере.

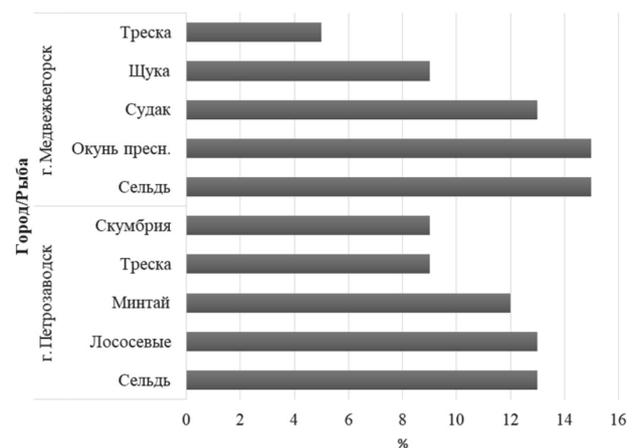


Рис. 4. Структура потребления рыбы в городах Петрозаводске и Медвежьегорске

В табл. 5 приведены данные о концентрации ртути в мышцах рыб, потребляемых в Петрозаводске и Медвежьегорске. Они показывают, что максимальные значения концентрации ртути в мышцах окуня, судака и щуки, выловленных в Онежском озере, либо превышают значения ПДК 0,5 мг/кг (500 ppb), либо близки к этим значениям. Принимая во внимание эти данные, а также данные, представленные на рис. 4, было рассчитано годовое поступление ртути в организм среднего жителя Петрозаводска и Медвежьегорска. Проведенные расчеты показали, что в Петрозаводске в организм человека при потреблении рыбы поступает в среднем 2,41 мг ртути в год (максимум — 4,31 мг). В Медвежьегорске эти значения составляют соответственно 7,8 и 12,4 мг в год, т. е. поступление ртути в организм человека в Медвежьегорске в 3 раза выше, чем в Петрозаводске, что вполне согласуется с данным по биомониторингу человека в Медвежьегорском районе [11].

Таблица 5

Концентрация ртути в мышцах рыбы (с учетом влажности), мкг/кг (ppb)

Онежское оз.	
Щука, n=11	376 (310–523)
Окунь, n=12	269 (100–461)
Судак, n=12	282 (154–407)
Лещ, n=3	59 (53–66)
Морская рыба [12]	
Сельдь, n=5	17 (10–27)
Лососевые, n=13	185 (59–380)
Минтай, n=10	40 (16–56)
Треска, n=13	34 (21–46)
Скумбрия, n=11	154 (55–261)

Выводы

• Анализ данных, приведенных в нашей работе, показывает, что внешние факторы не приводят к повышению концентрации ртути в основных естественных природных и урбанизированных средах Карелии.

• Высокая концентрация ртути в биологических материалах беременных женщин в Медвежьегорском районе обусловлена особенностью рациона питания местного населения — преобладанием в рационе питания хищных пресноводных рыб (щука, окунь, судак), выловленных непосредственно в Онежском озере.

• Данная проблема может быть характерна для населения всех северных и северо-восточных районов России, где традиционно в рационе питания преобладает рыба местного вылова. Фактически это постоянное, в течении всей жизни человека, поступление малых доз ртути, что может приводить к накоплению ртути в организме вплоть до токсичного порога.

Работа выполнена в рамках Государственной темы ГИН РАН №0135-2015-0019.

Полевые работы выполнены за счет личных средств участников проекта.

Благодарности

Авторы выражают свою глубокую благодарность коллегам и друзьям, оказавшим неоценимую помощь в проведении данной работы, — Г. А. Грановской и Н. А. Чугунову. Отдельно свою признательность авторы выражают Духанину А. С. за теплый прием и предоставление базы для полевых работ.

Авторство

Горбунов А. В. внес основной вклад в концепцию и дизайн исследования, подготовил первый вариант статьи; Ляпунов С. М. существенно переработал и окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Ермолаев Б. В. внес определяющий вклад в анализ и интерпретацию данных, существенно переработал статью на предмет важного интеллектуального содержания.

Горбунов Анатолий Викторович — ORCID 0000-0001-7794-100X; SPIN 1279-0204

Ляпунов Сергей Михайлович — ORCID 0000-0002-9532-4387; SPIN 7250-0308

Ермолаев Борис Владимирович — ORCID 0000-0001-9072-312X; SPIN 2249-0209

Список литературы

1. Горбунов А. В., Ляпунов С. М., Окина О. И., Шешуков В. С. Оценка поступления малых доз ртути в организм человека с продуктами питания // Экология человека. 2017. № 10. С. 16–20.

2. ГОСТ Р 53123-2008 (ИСО 10381-5:2005). Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2009, с. 48.

3. ГОСТ Р 51593-2000. Вода питьевая. Отбор проб. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2010, с. 9.

4. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2014 г. / Министерство по природопользованию и экологии Республики Карелия; редкол.: А. Н. Громцев (гл. ред.) и др. Петрозаводск, 2014. 272 с.

5. Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б. Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.

6. Майорова А. С., Болгов А. Ф. Рынок рыбной продукции в Республике Карелия. // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2012. № 2. С. 57–61.

7. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания. М.: Минздрав России, 1999, с. 13.

8. ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03. Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений и т. д. М., 2014, с14.

9. РД 52.18.156-99. Методические указания. Охрана природы. Почвы. СПб.: Гидрометиздат, 2000, с. 13.

10. Янин Е. П. Ртуть в России: ресурсы, производство, потребление // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики: сб. науч. трудов. М., ИМГРЭ, 2005. С. 5–34.

11. Boyarskaya T., Ilchenko I., Lyapunov S., Okina O. Exposure to mercury and weight-growth characteristics of the newborns in republic of Karelia, Russia // European Journal of Public Health. 2017. Vol. 27. Suppl 3. P. 28.

12. Clarkson T. W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds // Crit. Rev. Toxicol. 2006. Vol. 36. P. 609–620.

13. Gorbunov Anatoly V., Ermolaev Boris V., Lyapunov Sergey M., Frontasyeva Marina V., Pavlov Sergey S. Estimation of Mercury Intake from Consumption of Fish and Seafood in Russia // Food and Nutrition Sciences. 2016. Vol. 7. P. 516–523. Published Online June 2016 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/ins>

14. Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Frontasyeva M. V., Pavlov S. S. Nuclear and Related Analytical Techniques in Ecology: Impact of Geoecological Factors on the Balance of Trace Elements in the Human Organism // Physics of Particles and Nuclei. 2012. Vol. 43, N 6. P. 783–824.

15. Kaim W., Schwederski B. Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life. Chichester: John Wiley and Sons, 1994, 401 p.

16. Noelle E. Selin, Elsie M. Sunderland, Christopher D. Knightes, and Robert P. Mason. Sources of Mercury Exposure for U. S. Seafood Consumers: Implications for Policy // Environ Health Perspect. 2010 Jan. Vol. 118 (1). P. 137–143.

17. Passos C. J., Mergler D., Lemire M., Fillion M., Guimaraes J.R. Fish consumption and bioindicators of inorganic mercury exposure // Sci Total Environ. 2007. Vol. 373 (1). P. 68–76.

18. Passos C. J., Mergler D. Human mercury exposure

and adverse health effects in the Amazon: a review // *Cad Saude Publica*. 2008. Vol. 24. P. 503–520.

References

1. Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Sheshukov V. S. Evaluation of small doses of mercury in the human body with food. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 10, pp. 16-20. [In Russian]
2. *GOST R 53123-2008 (ISO 10381-5:2005). Quality of soil. Sampling. Part 5. Guidelines for the study of urban and industrial sites for soil pollution*. Moscow, Standartinform Publ., 2009, p. 48. [In Russian]
3. *GOST R 51593-2000. Drinking water. Sampling*. Moscow, Standartinform Publ., 2010, p. 9. [In Russian]
4. *State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2014*. Ministry of natural resources and ecology of the Republic of Karelia 2014, ed. A. N. Gromtsev, Petrozavodsk, 2014, 272 p. [In Russian]
5. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]
6. Maiorova A. S., Bolgov A. F. The market of fish products in the Republic of Karelia. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific notes of Petrozavodsk State University]. 2012, 2, pp. 57-61. [In Russian]
7. *MU 2.1.7.730-99. Hygienic assessment of soil quality in residential areas*. Methodical instructions. Moscow, 1999, p. 13. [In Russian]
8. *PND F 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03. Methodical recommendations sampling of soils, soils, bottom deposits, etc*. Moscow, 2014, p. 14. [In Russian]
9. *RD 52.18.156-99. Methodical instructions. Nature protection. Soils*. Saint Petersburg, Gidrometizdat, 2000, p. 13. [In Russian]
10. Yanin E. P. *Rtut' v Rossii: resursy, proizvodstvo, potreblenie* [Mercury. Problems of Geochemistry, Ecology, Analytics]. In: *Rtut'. Problemy geokhimii, ekologii, analitiki. Sb. nauchnykh trudov* [Mercury. Problems of geochemistry, ecology, analysts]. Collection of proceedings. Moscow, 2005, pp. 5-34.
11. Boyarskaya T., Ilchenko I., Lyapunov S., Okina O. Exposure to mercury and weight-growth characteristics of the newborns in republic of Karelia, Russia. *European Journal of Public Health*. 2017, 27 (3), p. 28.
12. Clarkson T. W., Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Crit. Rev. Toxicol.* 2006, 36, pp. 609-620.
13. Gorbunov Anatoly V., Ermolaev Boris V., Lyapunov Sergey M., Frontasyeva Marina V., Pavlov Sergey S. Estimation of Mercury Intake from Consumption of Fish and Seafood in Russia. *Food and Nutrition Sciences*. 2016, 7, pp. 516-523. Published Online June 2016 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/fns>.
14. Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Okina O. I., Frontasyeva M. V., Pavlov S. S. *Nuclear and Related Analytical Techniques in Ecology: Impact of Geoecological Factors on the Balance of Trace Elements in the Human Organism*. Physics of Particles and Nuclei, 2012, 43 (6), pp. 783-824.
15. Kaim W., Schwederski B. *Bioinorganic Chemistry: Inorganic Elements in the Chemistry of Life*. Chichester, John Wiley and Sons, 1994, 401 p.
16. Noelle E. Selin, Elsie M. Sunderland, Christopher D. Knights, and Robert P. Mason. Sources of Mercury Exposure for U. S. Seafood Consumers: Implications for Policy. *Environ Health Perspect.* 2010 Jan, 118 (1), pp. 137-143.
17. Passos C. J., Mergler D., Lemire M., Fillion M., Guimarães J. R. Fish consumption and bioindicators of inorganic mercury exposure. *Sci Total Environ.* 2007, Feb. 1, 373 (1), pp. 68-76.
18. Passos C. J., Mergler D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cad Saude Publica*. 2008, 24, pp. 503-20.

Контактная информация:

Горбунов Анатолий Викторович – старший научный сотрудник ФГБУН «Геологический институт Российской академии наук»

Адрес: 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7

E-mail: anatolygor@yandex.ru

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УЧАЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ТРАНСШИРОТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

© 2019 г. М. А. Филатов, *Л. К. Иляшенко, С. В. Макеева

БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут; *Филиал ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Сургут

Применение инструментальных и неинвазивных методов с помощью ЭВМ позволяет объективно оценивать состояние комплекса психофизиологических функций человека и эффективно выделять наиболее значимые параметры в различных экологических условиях. *Целью* исследования является сравнительный анализ эффективности двух подходов: традиционных статистических методов и искусственных нейронных сетей (ИНС) на базе суперкомпьютера в исследовании влияния транширотных перемещений на психофизиологические функции. *Методы.* С помощью запатентованной программы для ЭВМ было исследовано состояние психофизиологических функций 146 учащихся 1–7-х классов школ г. Сургута и Сургутского района в условиях широтных перемещений с севера на юг Российской Федерации и обратно. В рамках метода ИНС устанавливались различия в состоянии психофизиологических параметров между группами мальчиков и девочек до отъезда на Юг и после приезда в Туапсе. Осуществив многократное повторение ($p \rightarrow \infty$) данной процедуры, для каждого P_i после j -го повторения мы получили общее число хаотической генерации значений весовых коэффициентов w_{ij} , которые обрабатывались в рамках традиционной стохастики (определялись функции распределения $f(x)$). Причём эти группы нами повторялись в наборах $p_1 = 50$, $p_2 = 100$, $p_3 = 1\ 000$. *Результаты:* в исследуемых группах учащихся Югры в условиях транширотных перемещений резко и значительно изменяется динамика параметров психофизиологических функций, характеризующих состояние внимания и памяти, проявляющаяся в изменении коэффициентов вариации (Δw_i) при большом количестве итераций нейросети в режиме бинарной классификации. *Вывод:* ИНС в режиме многократных итераций ($p \geq 1\ 000$) может обеспечить решение задачи системного синтеза – идентификацию наиболее значимых диагностических признаков в работе психофизиологических функций в условиях кратковременных транширотных перемещений человека.

Ключевые слова: транширотные перемещения, нейросеть, психофизиологические функции, параметры порядка

PSYCHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF STUDENTS BEFORE AND AFTER TRANSLATITUDE TRAVELS

M. A. Filatov, *L. K. Ilyashenko, S. V. Makeeva

Surgut State University, Surgut; *Tyumen Industrial University, Surgut Branch, Surgut, Russia

The use of instrumental and non-invasive methods using a computer provides an opportunity to assess the state of the complex of psychophysiological functions and identify the most significant parameters in various environmental conditions. *The aim* of the study was a comparative analysis of two approaches: traditional statistical methods and artificial neural networks (ANN) based on a supercomputer in the study of the influence of translatititude relocation on psychophysiological functions. *Methods:* In total, 146 students, permanent residents of Surgut from the 1st through the 7th grades were examined before and after travels from the north to the south of the Russian Federation and back. The state of the psychophysiological functions of students was recorded by using a patented software. The ANN was used to establish the differences in the state of psychophysiological parameters between the groups of boys and girls before from the north to the south (Tuapse) and after arriving back to Surgut. After multiple repetitions ($p \rightarrow \infty$) of this procedure, for each P_i after the j -th repetition, we obtained the total number of chaotic generation of values of weight coefficient w_{ij} processed in the framework of traditional stochastic (the distribution functions $f(x)$ were determined). Moreover, these analyses were repeated in the sets $p_1 = 50$, $p_2 = 100$, $p_3 = 1\ 000$. *Results:* We found that the dynamics of parameters of psychophysiological functions of characterizing the concentration and memory states, increased sharply and significantly in changes of the variation coefficients (Δw_i) with a large number of neural network iterations in the binary classification mode. *Conclusion:* ANN in the mode of multiple iterations ($p \geq 1\ 000$) can provide a solution to the problem of system synthesis - identification of the most significant diagnostic features in the work of psychophysiological functions before and after short term north-south travels.

Key words: relocation, neuro-computer, system synthesis, order parameters

Библиографическая ссылка:

Филатов М. А., Иляшенко Л. К., Макеева С. В. Психофизиологические параметры учащихся в условиях транширотных перемещений // Экология человека. 2019. № 4. С. 18–24.

Filatov M. A., Ilyashenko L. K., Makeeva S. V. Psychophysiological Parameters of Students before and after Translatititude Travels. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 18-24.

Состояние психофизиологических функций зависит от большого комплекса воздействий параметров экологических факторов, техногенного и социально-психологического характера. Установлено, что в основе функциональных изменений организма при перемещениях лежит десинхроноз – нарушение структуры

биологических ритмов различных физиологических систем и, как следствие, дискоординация всех внутрисистемных и межсистемных механизмов регуляции функций целостного организма [1, 5]. При всех видах перемещений в контрастные климатовременные и социальные условия первая кратковременная реакция

проявляется в снижении работоспособности и повышении энергозатрат организма [2, 7]. Одновременно развиваются специфические адаптивные реакции, определяемые экологическими и социальными особенностями среды [4, 5].

Психическая и психофизиологическая адаптация человека на Севере актуальна не только в связи с «абсолютной» суровостью климата, но и в связи с тем, что население этого региона сегодня формируется преимущественно за счет миграционных потоков, причиной которых является в большей части экономическая сторона вопроса. Множество людей одновременно оказываются в новых и необычных условиях, предъявляющих повышенные требования к адаптивным механизмам. Например, частота стойких нарушений психической адаптации среди лиц, проживающих на Севере менее 3 лет, значимо больше, чем у лиц, проживающих на Севере 6–10 лет [12, 14].

Методы

Всего были обследованы 83 учащихся 1–7-х классов школ г. Сургута и Сургутского района в условиях широтных перемещениях с севера на юг Российской Федерации и обратно в четыре этапа: «до отъезда», «после приезда» в санаторий «Юный нефтяник» (время пребывания в санатории – 2 недели), «перед отъездом» из него и «по приезду» в Сургут на предмет исследования динамики влияния широтных перемещений на психофизиологические функции и отыскание параметров порядка в рамках сравнения эффективности двух подходов (традиционная статистика и применение искусственных нейронных сетей – ИНС на базе ЭВМ). Критерии включения в исследование: возраст учащихся 7–14 лет; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований; наличие информированного согласия на участие в исследовании. Критерий исключения из исследования: болезнь учащегося в период обследования. Обследование школьников выполнялось неинвазивными методами и полностью соответствовало этическим нормам, предусмотренным Хельсинкской декларацией (2000).

В настоящих исследованиях использовалась программа [11], которая обеспечивает объективное получение информации о показателях ряда психофизиологических функций (с помощью Р-теста). Обследуемым предъявлялся набор из 7 тестов (блок), под общим названием Р-тест (от англ. Psychological test) для выявления особенностей сенсомоторных (Р1–Р3) показателей и качественной оценки ряда психофизиологических показателей (Р4–Р7). В нашем исследовании представлены результаты тестов психофизиологических показателей (Р4–Р7). Тест Р4: через произвольные промежутки времени загорались (появлялись) на мониторе (попеременно) квадрат красного или квадрат зеленого цвета (каждый цвет имел свой номер в рефлексии). Кроме того, происходило это в произвольных областях экрана. Вы-

полнение задания оценивалось по среднему времени реакции (латентный период, с) и подсчитывались неправильные ответы в процентах. Тест Р5 заключался в распознавании четных и нечетных чисел: испытуемый должен был как можно быстрее после появления двузначного числа на экране монитора определить, какое это число (четное или нечетное), и нажать соответствующую цифру на клавиатуре. Выполнение задания оценивалось также по среднему времени реакции (латентный период, с). Тест Р6: испытуемый должен был нажимать цифру на клавиатуре компьютера от 1 до 9 в соответствии с символом, появляющимся на экране. При этом на мониторе по очереди появлялся один из 9 разных символов (знаков) в произвольном порядке, каждому из них соответствовала какая-то цифра, которую и должен был нажать испытуемый. Выполнение задания оценивалось также по средним латентным периодам (с) и количеству неправильных ответов (%). Тест Р7 представлял собой наиболее энергоемкое (в психическом плане) задание, т. к. был направлен на сосредоточенность внимания и занимал относительно больший промежуток времени (несмотря на достаточно простое задание). В таблице (10 на 10 символов) из чередующихся в произвольном порядке четырех видов фигур испытуемый должен был выделить (при перемещении курсора вперед или назад на экране монитора) все фигуры одного заданного вида. Выполнение оценивалось по числу символов, идентифицируемых в одну секунду, а также определялась с помощью ЭВМ точность выполнения (процент неправильных (ошибочных) ответов) задания.

В рамках применения ИНС [8, 9, 15, 16] были поставлены задачи, например, чем отличаются дети (мальчики и девочки) до отъезда в санаторий и после возвращения в г. Сургут. Подобные задачи имеют два общих признака, в частности, у биологических динамических систем должно быть $dx/dt = 0$ (хотя бы на малом интервале времени t), и они должны образовывать разные группы объектов (испытуемых). Эти группы испытуемых могут отличаться по полу, возрасту или вообще различаться по условиям пребывания в экосреде. Использовалось четырехмерное фазовое пространство вектора состояния психических функций $x(t)$, когда в ИНС вводились обучающие выборки x_{ij} , где $i = 1, 2, 3, 4$ номер координаты фазового пространства, а $j = 1, 2 \dots n$, где n – число обследуемых в данной группе (мальчиков 38 и девочек 45).

Особенность нашей настройки заключалась в том, что число итераций ($p_1 = 50, p_2 = 100, p_3 = 1\ 000$ итераций) p брали в указанных трех диапазонах, но при каждом j -м цикле значения ω_{i0} задавались из равномерного закона распределения в интервале (0,1). Сравнение групп испытуемых выполнялось в четырех представленных состояниях, т. е. после решения задачи бинарной классификации получались выборки ω_{ij} весов признаков P_i , которые при каждой итерации имели свои значения.

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программных пакетов Excel MS Office-2010 и Statistica 10. Анализ соответствия вида распределения полученных данных закону нормального распределения производился на основе вычисления критерия Шапиро – Уилка. Критерий Шапиро – Уилка W является наиболее эффективным, так как он обладает большей мощностью по сравнению с альтернативными критериями проверки нормальности. Выявлялись различия между конкретными группами (парное сравнение групп) при помощи непараметрического критерия Вилкоксона с поправкой Бонферрони (для оценки справедливости нулевой гипотезы).

Результаты

Количество возможных сравнений групп в разных экологических состояниях было рассчитано по формуле: $n = 0,5N(N - 1)$, где N – количество изучаемых групп. В нашем случае отмечены 4 группы (1 группа – до отъезда из Сургута в санаторий; 2 группа – по приезду из Сургута в санаторий; 3 группа – при отъезде из санатория в Сургут; 4 группа – по возвращении в Сургут), тогда максимальное количество возможных сравнений составит $n = 0,5 \times 4 \times (4 - 1) = 6$. Если оставить критический уровень значимости без изменений (0,05), то вероятность случайного обнаружения статистически значимых различий составит $1 - 0,95^6 = 0,26$, или 26,0 %.

При групповом и межгрупповом сравнении на основе критерия Вилкоксона во всех четырех измерениях нет статистически значимых различий между мальчиками и девочками (табл. 1). Более того, при сравнении состояния параметров психофизиологических функций между первым (до отъезда) и последующими измерениями как между группами девочек

Таблица 1
Результаты статистической обработки психофизиологических тестов (P4–P7) учащихся в условиях транскриптового перемещения (статистические различия по критерию Вилкоксона)

Этап	P4	P5	P6	P7
1-й, д	0,54±0,11	1,42±0,59	2,39±0,46*	1,79±0,20*
1-й, м	0,50±0,03	1,11±0,85	2,65±0,47*	1,85±0,27*
2-й, д	0,54±0,06	1,00±0,49	2,34±0,31	1,99±0,18
2-1, м	0,52±0,01	1,25±0,41	2,44±0,42	1,99±0,13
3-й, д	0,57±0,03	1,01±0,22	2,13±0,29	1,99±0,24*
3-й, м	0,55±0,01	1,21±0,52	2,16±0,24	2,21±0,18*
4-й, д	0,56±0,01	0,99±0,01	2,06±0,16	2,06±0,18
4-й, м	0,56±0,01	0,86±0,04	2,01±0,30	2,00±0,21

Примечания: 1-й этап – перед отъездом; 2-й – сразу после прибытия в санаторий; 3-й – перед отъездом из санатория и 4-й по возвращении в Сургут; д – девочки, м – мальчики, P4 – латентный период (ЛП) реакции на появление зеленого/красного квадрата в произвольном месте экрана, с; P5 – ЛП распознавания чётных и нечётных чисел, с; P6 – ЛП распознавания символа, с; P7 – сосредоточенность внимания, с; статистическая значимость различий: * – $p < 0,05$.

в разных экологических состояниях, так и в группе мальчиков, а также при межгрупповом сравнении (мальчики и девочки), статистически значимых различий получено не было (кроме случая с параметром P4, который имеет параметрическое распределение). Поэтому в сводной табл. 1 результатов статистической обработки психофизиологических функций указаны медианы, т. к. практически на всех этапах исследования было установлено непараметрическое распределение параметров.

Проверка на нормальное распределение и статистическая обработка психофизиологических функций испытуемых на всех этапах измерений при $p_1 = 50$, $p_2 = 100$, $p_3 = 1\ 000$ итераций (повторов настроек нейроэмулятора) установила, что параметры психофизиологических функций (P4–P7) имеют непараметрический тип распределения данных, однако параметр P7 на первых трех этапах исследований имеет нормальное распределение и в одном случае нормальное распределение у параметра P4 (табл. 2).

Таблица 2
Результаты проверки на нормальное распределение и статистическая обработка психофизиологических функций испытуемых при $p_1 = 50$, $p_2 = 100$, $p_3 = 1\ 000$ итераций

Мальчики и девочки после прибытия в санаторий						
P _i	N	Макс. D	К.-С.	Лиллиеф.	W	p*
p = 50						
4	50	0,080	p > ,20	p > ,20	0,968	0,206
5	50	0,172	p < ,15	p < ,01	0,918	0,002
6	50	0,110	p > ,20	p < ,15	0,925	0,003
7	50	0,062	p > ,20	p > ,20	0,977	0,449
p = 100						
4	100	0,084	p > ,20	p < ,10	0,956	0,002
5	100	0,115	p < ,15	p < ,01	0,938	0,000
6	100	0,094	p > ,20	p < ,05	0,941	0,000
7	100	0,060	p > ,20	p > ,20	0,971	0,030
p = 1 000						
4	1000	0,069	p < ,01	p < ,01	0,957	0,000
5	1000	0,090	p < ,01	p < ,01	0,946	0,000
6	1000	0,074	p < ,01	p < ,01	0,954	0,000
7	1000	0,068	p < ,01	p < ,01	0,955	0,000

Примечания: здесь и далее в табл. 3–5: p – количество обучений ИНС на базе суперкомпьютера; P_i (P4–P7) – параметры психофизиологических функций учащихся; p* – статистическая значимость различий.

Анализ статистических данных P_i показывает, что могут быть непараметрические законы распределения и даже параметрические. Достоверное статистическое различие мы наблюдаем в первой группе исследований для 4-го теста (сосредоточенность внимания, с) и в третьей группе исследований в 1-м (латентный период (с) реакции на появление зеленого/красного квадрата в произвольном месте экрана (с)) и 4-м тестах. Наличие различий говорит, что выборки могут принадлежать разным генеральным совокупностям.

Периодизм физиологических и психофизиологических функций, которые закреплены в течение длительного воздействия параметров в месте постоянного проживания, сохраняется в течение определенного времени после перелета в другой часовой пояс.

Как известно, временной сдвиг рассчитывается по формуле $C(\text{ч}) = I_1 - I_2/15$, где I_1 — долгота пункта вылета; I_2 — долгота пункта назначения. Долгота пунктов, которые расположены к востоку от Гринвича, входит в формулу со знаком минус, к западу — со знаком плюс, т. е. перелет на запад соответствует положительному сдвигу времени, а на восток — отрицательному [5]. Следовательно, в нашем случае: $C(\text{ч}) = 73^\circ - 38^\circ/15 = 2,3$ ч. Однако большинство исследователей считают, что десинхроз проявляется со стороны центральной нервной системы (ухудшение субъективного состояния, увеличение латентных периодов реакций) и работы вегетативной нервной системы при перелете в среднем через четыре часовых пояса. Динамика изменения в работе психофизиологических функций полученных результатов в рамках стохастических методов согласуются с подобными утверждениями и одновременно подчеркивают ограниченные возможности детерминистско-стохастического подхода в оценке влияния на человека сезонного десинхроза в условиях кратковременного пребывания на юге.

Обсуждение результатов

В экологии человека очень часто возникают задачи разделения разных групп (например, популяций), имеющих одинаковые (возрастные, половые и др.) характеристики, но находящихся в разных экологических условиях. Например, при изучении различий в параметрах организма между группами коренного и пришлого населения, между испытуемыми, принадлежащими к разным этническим группам, выходцами из разных территорий, но уже проживающими на одной территории и т. д. [6, 8, 12, 14]. После выявления различий в параметрах (для сравниваемых групп) сразу возникает вопрос о значимости (ранжировании) используемых диагностических признаков. Это задача системного синтеза, т. е. отыскание параметров порядка. В экологии человека такая процедура укажет, на какие процессы следует обратить особое внимание (какие функциональные системы и как реагируют на внешние экофакторы).

С математической точки зрения подобные задачи обычно решаются в рамках анализа статистических функций распределения для всех компонент x_i вектора состояния системы (ВСС) $x = x(t) = (x_1, x_2 \dots x_m)^T$ на основе статистической проверки гипотез или методами теории рисков. Последние годы к решению такой проблемы диагностики стали привлекаться методы нечетких множеств и теории нейросетей мозга. В последнем случае при использовании нейроэмуляторов возможно решение задачи бинарной классификации, которая определяет не только возможность (или невозможность) разделения двух разных в экологическом отношении сравниваемых групп, но и одной группы,

находящейся в состоянии до воздействия экофакторов и после такого воздействия (это часто встречается именно в экологии человека). Традиционно (в рамках стохастического подхода) такая задача решалась на основе анализа различий в функциях распределений для каждого из признаков x_i , характеризующих состояние экосистемы (ЭС). При этом все это состояние ЭС описывается вектором состояния системы $x(t)$, компоненты которого x_i могут принимать различные значения из некоторой области Δx_i по каждой такой координате ВСС в фазовом пространстве состояний — ФПС. При этом динамика поведения ЭС может быть очень сложной, и такие системы I. R. Prigogine и Н. Накеп [цит. по 13] относили к complexity, т. е. к уникальным системам с неповторимой динамикой и состояниями. Исходя из предыдущих работ [8, 10, 12, 14, 17], было установлено, что нейроэмуляторы (и нейросети мозга вообще) невозможно использовать для идентификации параметров порядка (наиболее важных диагностических признаков) при разовой настройке ($N = 1$) [5, 8, 9, 13]. При малых $p \leq 100$ мы для каждого значения l будем получать свой набор ранжирования w_{ij} и свои значения средних весов $\langle w_{ij} \rangle$ для каждой выборки l , и тогда задача идентификации параметров порядка не будет решена [16].

В рамках применения ИНС на базе суперкомпьютера были поставлены задачи по идентификации различий в работе психофизиологических функций в разных экологических условиях групп детей (мальчики и девочки) до отъезда в санаторий и по возвращении в г. Сургут. Для этих целей был выбран простой режим работы ИНС — режим бинарной классификации. На вход ИНС предъявлялись две выборки в виде набора признаков $P_i (i = 1 \dots 4)$ для двух групп испытуемых. Для ИНС исходно при каждой настройке (итерации) задавались начальные веса этих диагностических признаков x_{i0} из отрезка $(0, 1)$ с равномерным распределением (генератор хаотических сигналов). В табл. 3 представлена динамика коэффициентов вариации $\langle \Delta w_i \rangle$ весов признаков P4–P7 при 50, 100 и 1 000-кратном обучении нейросети (каждая строка в этих таблицах показывает интервал изменения всех четырех усредненных весов по пяти сериям). Как видно из табл. 3, с увеличением количества итераций обучений нейросети вариационный размах весовых коэффициентов в большинстве случаев (особенно после возвращения в Сургут) уменьшается, за исключением параметра P4. При увеличении числа повторов итераций p , т. е. повторов решения задачи бинарной классификации в рамках исходного задания хаотичного набора весов признаков x_{i0} , и при переходе к $10^2 < p < 10^3$ картина начинает существенно изменяться (существенное снижение отклонений в значениях средних весов показывает сходимость весов признаков при $p \rightarrow \infty$, и увеличение значений весов P_i выше 0,5 является параметром порядка). Возникает некоторая устойчивая первая цифра, а последующие две цифры (для $p \geq 100$) могут изменяться от минимума до максимума, образуя интервал изменения $\Delta w_i =$

$\omega_{i\max} - \omega_{i\min}$ для каждого набора итераций l , где $l = 1, 2 \dots N$. Характер их изменения подобен изменению весов признаков при $p < 100$, т. е. отдельные наборы (выборки весов признаков W_{ij}^l , где j – номер порядка итерации, а l – номер набора (выборки) итераций) демонстрируют ненормальное распределение (хотя нормальные законы распределения тоже возможны). Возникающие непараметрические распределения при этом постоянно изменяются (при переходе от p_1 ($l = 1$) к p_2 ($l = 2$) и т. д.). Для каждой выборки p^l , где l – номер серии повторов настройки нейроэмулятора для задачи бинарной классификации, мы будем иметь свои функции распределения $f(p^l)$, то есть при N повторах ($l = 1 \dots N$) мы можем получить N различных функций распределения. При 50-, 100-, 1 000-кратном обучении нейросеть выдавала разные результаты ранговой значимости (см. табл. 3), т. е. вклад каждого признака в процедуру идентификации важных диагностических признаков при каждой итерации (настройка нейроэмулятора) являлся различным.

Таблица 3

Динамика коэффициентов вариации $\langle \Delta\omega_i \rangle$ весов признаков P_i вектора состояния системы при идентификации параметров порядка нейроэмулятором после $p \leq 50, p \leq 100, p \leq 1\ 000$ итераций в режиме бинарной классификации

Расчеты итераций по выборкам		Средние значения весов признаков $\langle \omega_i \rangle$ для координат вектора состояния системы P_i			
		P4	P5	P6	P7
При отъезде из Сургута					
Нейросети с $p \leq 200 = 4 \times 50$	Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,06	0,065	0,214
Нейросети с $p \leq 400 = 4 \times 100$	Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,039	0,055	0,028
Нейросети с $p \leq 1000 = 4 \times 1000$	Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,0192	0,0133	0,0118
По возвращении в г. Сургут					
Нейросети с $p \leq 200 = 4 \times 50$	Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,07	0,017	0,015
Нейросети с $p \leq 400 = 4 \times 100$	Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,053	0,038	0,029
Нейросети с $p \leq 1000 = 4 \times 1000$	Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,0131	0,0078	0,0099

В табл. 4 и 5 представлены результаты обучения ИНС по пяти наборам p для малых ($p = 50$) и для больших значений p (p_2, p_3). Для $p = 50$ мы получили пять законов распределения (и они все разные!), а для N серий по p итераций в каждой мы получим $N \times t$ выборок и функций распределения, т. е. для каждой p -й серии будем иметь уникальное распределение весов признаков. Такая ситуация является обычной (или нормальной) для хаотического процесса настройки нейросети при одинаковых обучающих выборках (и наборах x_{i0}). Именно такой хаотической настройкой нейросети мы сейчас объясняем хаос параметров психофизиологических функций, кардиоинтервалов и любых других параметров гомеостаза отдельного организма и любой физиологической системы в

целом [3, 8, 9]. Динамика изменения параметров порядка психофизиологических функций такова, что параметр P4 до отъезда из Сургута в санаторий и по возвращении не изменился ($P = 1, \Delta\omega_i = 0$), однако параметры P5 и P6 потеряли статус параметров порядка при приезде в Сургут: P5 – 0,59→0,43 и P6 – 0,52→0,33 (значение параметра P7 практически не изменилось 0,25→0,29).

Таблица 4

Усредненные значения отдельных координат весов признаков ω_i вектора состояния системы при идентификации параметров порядка нейроэмулятором в режиме бинарной классификации при отъезде из Сургута

Расчеты итераций по выборкам ($p \geq 50$)	Средние значения весов признаков $\langle \omega_i \rangle$ для координат вектора состояния системы P_i			
	P4	P5	P6	P7
После $p \geq 50$ итераций				
$p=200, j=(1\dots200)$	1	0,596	0,506	0,262
$p=50, j=(1\dots50)$	1	0,616	0,519	0,260
$p=50, j=(50\dots100)$	1	0,562	0,536	0,260
$p=50, j=(100\dots150)$	1	0,584	0,498	0,265
$p=50, j=(150\dots200)$	1	0,622	0,471	0,474
Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,06	0,065	0,214
После $p \geq 1\ 000$ итераций				
$p=4000, j=(1\dots100)$	1	0,6009	0,5264	0,2524
$p=1000, j=(0\dots1000)$	1	0,6122	0,5196	0,2526
$p=1000, j=(1000\dots2000)$	1	0,6007	0,5245	0,2461
$p=1000, j=(2000\dots3000)$	1	0,5930	0,5329	0,2527
$p=1000, j=(3000\dots4000)$	1	0,5976	0,5288	0,2579
Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,0192	0,0133	0,0118

Таблица 5

Усредненные значения отдельных координат весов признаков ω_i вектора состояния системы при идентификации параметров порядка нейроэмулятором в режиме бинарной классификации по возвращении в Сургут

Расчеты итераций по выборкам ($p \geq 50$)	Средние значения весов признаков $\langle \omega_i \rangle$ для координат вектора состояния системы P_i			
	P4	P5	P6	P7
После $p \geq 50$ итераций				
$p=200, j=(1\dots200)$	1	0,464	0,347	0,287
$p=50, j=(1\dots50)$	1	0,421	0,348	0,281
$p=50, j=(50\dots100)$	1	0,454	0,354	0,296
$p=50, j=(100\dots150)$	1	0,489	0,337	0,283
$p=50, j=(150\dots200)$	1	0,491	0,350	0,286
Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,07	0,017	0,015
После $p \geq 1\ 000$ итераций				
$p=4000, j=(1\dots100)$	1	0,4384	0,3343	0,2891
$p=1000, j=(0\dots1000)$	1	0,4474	0,3296	0,2889
$p=1000, j=(1000\dots2000)$	1	0,4343	0,3339	0,2919
$p=1000, j=(2000\dots3000)$	1	0,4366	0,3374	0,2828
$p=1000, j=(3000\dots4000)$	1	0,4351	0,3365	0,2927
Интервалы изменений $\langle \Delta\omega_i \rangle$	0	0,0131	0,0078	0,0099

Вывод

Полученные результаты исследования параметров психофизиологических функций учащихся в условиях трансширотного перемещения с помощью традиционных стохастических методов не показали существенной динамики. Выявлено, что в большинстве сравнений как внутри группы (отдельно мальчики и девочки), так и в межгрупповом сравнении во всех четырех измерениях не установлено статистических значимых различий по критерию Вилкоксона. Обнаруженные с помощью ИНС изменения в параметрах высших психических функций в условиях двухнедельного пребывания в теплом климате (и столь небольшом часовом смещении) говорят о повышении эффективности центральных регуляторных систем высшей нервной деятельности при перемещении человека в новую природно-климатическую среду с временным сдвигом менее 4 часов.

В условиях трансширотных перемещений исследуемых групп учащихся Югры (с севера на юг России и обратно) резко и значительно изменяется динамика психофизиологических функций, характеризующих состояние внимания и памяти, проявляющаяся в изменении коэффициентов вариации ($\Delta\omega_i$) при большом количестве итераций нейросети в режиме бинарной классификации. Идентификация значимости признаков x_i при сравнении всех четырех состояний психофизиологических функций целесообразно выявлять при числе итераций нейроэмулятора с хаотическим набором исходных весов признаков на интервале (0, 1) не менее $p = 1\ 000$, т. е. ИНС в режиме многократных итераций ($p \geq 1\ 000$) может обеспечить решение задачи системного синтеза — идентификацию параметров порядка при сравнении параметров психофизиологических функций человека при кратковременных трансширотных перемещениях.

Использование нейроэмуляторов при решении задачи бинарной классификации в экологии человека является продуктивным способом быстрой диагностики существенных (или несущественных) различий при оценке действия экологических факторов на исследуемый биологический объект. При воздействии неблагоприятных экологических факторов среды на экосистему (в частности, на популяцию или даже отдельную группу испытуемых) нейроэмулятор однозначно может диагностировать различие (при условии $p \geq 1\ 000$) между состоянием группы обследуемых, а также при изучении суточных и сезонных изменений в организме испытуемых в условиях трансширотных перемещений (или климатических изменениях).

Авторство

Филатов М. А. подготовил первый вариант статьи, окончательно утвердил присланный в редакцию рукопись; Иляшенко Л. К. выполнила статистический анализ полученных данных; Макеева С. В. участвовала в анализе данных, внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования.

Филатов Михаил Александрович — ORCID 0000-0002-5784-2888; SPIN 4362-0598

Иляшенко Любовь Кирыловна — ORCID 0000-0002-7637-8590; SPIN 6071-4770

Макеева Светлана Владимировна — ORCID 0000-0002-9581-4597; SPIN7375-9

Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Стресс и теория адаптации. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. 190 с.
2. Гудков А. Б., Мосягин И. Г., Иванов В. Д. Характеристика фазовой структуры сердечного цикла у новобранцев учебного центра ВМФ на Севере // Военно-медицинский журнал. 2014. Т. 335, № 2. С. 58–59.
3. Есков В. М., Гудков А. Б., Баженова А. Е., Козуница Г. С. Характеристика параметров тремора у женщин с различной физической подготовкой в условиях Севера России // Экология человека. 2017. № 3. С. 38–42.
4. Лукманова Н. Б., Волокитина Т. В., Гудков А. Б., Сафонова О. А. Динамика параметров психомоторного развития детей 7–9 лет // Экология человека. 2014. № 8. С. 13–19.
5. Матюхин В. А., Разумов А. Н. Экологическая физиология человека и восстановительная медицина / под ред. И. Н. Денисова. М.: ГЭОТАР МЕДИЦИНА, 1999. 336 с.
6. Нифонтова О. Л., Гудков А. Б., Шербакова А. Э. Характеристика параметров ритма сердца у детей коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека. 2007. № 11. С. 41–44.
7. Сарычев А. С., Гудков А. Б., Попова О. Н., Ивченко Е. В., Беляев В. П. Характеристика компенсаторно-приспособительных реакций внешнего дыхания у нефтяников в динамике экспедиционно-вахтового режима труда в Заполярье // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2011. № 3 (35). С. 163–166.
8. Betelin V. B., Eskov V. M., Galkin V. A. and Gavrilenko T. V. Stochastic volatility in the dynamics of complex homeostatic systems // Doklady Mathematics. 2017. Vol. 95, N 1. P. 92–94.
9. Eskov V. M., Filatova O. E. Problem of identity of functional states in neuronal networks // Biophysics. 2003. N 48 (3). P. 497–505.
10. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Khadartsev A. A., Sinenko D. V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology // Advances in Gerontology. 2016. N 6 (1). P. 24–28.
11. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina J. V., Gavrilenko T. V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems // Moscow University Physics Bulletin. 2016. N 71 (2). P. 143–154.
12. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Vochmina U. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. N. A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // Russian Journal of Biomechanics. 2017. Vol. 21, N 1. P. 14–23.
13. Eskov V. M., Zinchenko Yu. P., Filatova O. E. Indications of paradigm and justification of the third paradigm in psychology // Moscow University Psychology Bulletin. 2017. N 1. P. 3–17.
14. Khadartsev A. A., Nesmeyanov A. A., Eskov V. M., Filatov M. A., Pab W. Fundamentals of chaos and self-organization theory in sports // Integrative medicine international. 2017. Vol. 4. P. 57–65.
15. Vokhmina Y. V., Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Filatova O. E. Medical and biological measurements:

measuring order parameters based on neural network technologies // *Measurement Techniques*. 2015. Vol. 58 (4). P. 65–68.

16. Vokhmina Y. V., Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Filatova O. E. Measuring Order Parameters Based on Neural Network Technologies // *Measurement Techniques*. 2015. Vol. 58 (4). P. 462–466.

17. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental confirmation of the effect of “Repetition without repetition” N.A. Bernstein // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2017. Vol. 1. P. 4–8.

References

1. Agadzhanyan N. A. *Stress i teoriia adaptatsii* [Stress and adaptation theory]. Orenburg, 2005, 190 p.

2. Gudkov A. B., Mosyagin I. G., Ivanov V. D. Characteristic of cardiac cycle phase structure in recruits of a Navy Training Center in the North. *Voенно-медицинский журнал* [Military-Medical Journal]. 2014, 335 (2). pp. 58-59. [In Russian]

3. Eskov V. M., Gudkov A. B., Bazhenova A. E., Kozupitsa G. S. The tremor parameters of female with different physical training in the Russian North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 3, pp. 38-42. [In Russian]

4. Lukmanova N. B., Volokitina T. V., Gudkov A. B., Safonova O. A. Changes of Psychomotor development parameters in 7-9 y. o. children. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 8, pp. 13-19. [In Russian]

5. Matyuhin V. A., Razumov A. N. *Ekologicheskaya fiziologiya cheloveka i vosstanovitel'naya meditsina* [Ecological physiology of man and regenerative medicine]. Moscow, GEOTAR MEDICINE Publ., 1999, 336 p.

6. Nifontova O. L., Gudkov A. B., Shherbakova A. Ye. Description of parameters of cardiac rhythm in indigenous children in Khanty-Mansiysky autonomous area. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2007, 11, pp. 41-44. [In Russian]

7. Sarychev A. S., Gudkov A. B., Popova O. N., Ivchenko E. V., Beljaev V. R. Characteristics of compensatory-adaptive reactions of external respiration at oil industry workers in dynamics expeditionary rotational team work in the Polar region. *Vestnik Rossiiskoi voенно-медицинской академии* [Bulletin of Russian military-medicine academy]. 2011, 3 (35), pp.163-166. [In Russian]

8. Betelin V. B., Eskov V. M., Galkin V. A. and Gavrilenko T. V. Stochastic volatility in the dynamics of complex homeostatic systems. *Doklady Mathematics*. 2017, 95 (1), pp. 92-94.

9. Eskov V. M., Filatova O. E. Problem of identity of functional states in neuronal networks. *Biophysics*. 2003, 48 (3), pp. 497-505.

10. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Khadartsev A. A., Sinenko D. V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology. *Advances in Gerontology*. 2016, 6 (1), pp. 24-28.

11. Eskov V. M., Eskov V. V., Vokhmina J. V., Gavrilenko T. V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2016, 71 (2), pp. 143-154.

12. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Vokhmina U. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. N. A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person. *Russian Journal of Biomechanics*. 2017, 21 (1), pp. 14-23.

13. Eskov V. M., Zinchenko Yu. P., Filatova O. E. Indications of paradigm and justification of the third paradigm in psychology. *Moscow University Psychology Bulletin*. 2017, 1, pp. 3-17.

14. Khadartsev A. A., Nesmeyanov A. A., Eskov V. M., Filatov M. A., Pab W. Fundamentals of chaos and self-organization theory in sports. *Integrative medicine international*. 2017, 4, pp. 57-65.

15. Vokhmina Y. V., Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Filatova O. E. Medical and biological measurements: measuring order parameters based on neural network technologies. *Measurement Techniques*. 2015, 58, (4), pp. 65-68.

16. Vokhmina Y. V., Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Filatova O. E. Measuring Order Parameters Based on Neural Network Technologies. *Measurement Techniques*. 2015, 58 (4), pp. 462-466.

17. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental confirmation of the effect of “Repetition without repetition” N.A. Bernstein. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2017, 1, pp. 4-8.

Контактная информация:

Филатов Михаил Александрович – доктор биологических наук, профессор кафедры биофизики и нейрокибернетики Института естественных и технических наук БУ ВО «Сургутский государственный университет»

Адрес: 628412, ХМАО, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

E-mail: filatovmik@yandex.ru

СООТНОШЕНИЕ ЦИТОТОКСИЧЕСКИХ ЛИМФОЦИТОВ И ПРОЛАКТИНА У ЖЕНЩИН АРХАНГЕЛЬСКОЙ И МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ АДАПТИВНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА

© 2019 г. ¹О. Е. Филиппова, ¹Е. Ю. Шашкова, ^{1,2}Л. С. Щёголева

¹ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН», г. Архангельск;

²ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова», г. Архангельск

Цель: определить соотношение цитотоксической активности адаптивных иммунных реакций и пролактина у практически здоровых жительниц Архангельской и Мурманской областей. **Методы.** Обследованы 145 женщин 20–49 лет на протяжении 2014–2017 гг. Фенотипировали лимфоциты CD3⁺, CD5⁺, CD8⁺, HLA-DR⁺ (МедБиоСпектр, Москва) с использованием микроскопа Nikon Eclipse 50i. Количественное определение сывороточных иммуноглобулинов E (ЗАО «ВЕКТОР-БЕСТ», Россия) проводили методом иммуноферментного анализа (ИФА) на Stat Fax 2100. Пролактин определяли ИФА ELISYS Uno (Германия). Использовался пакет компьютерной программы Statistica 6.0. **Результаты.** Состояние иммуногормонального фона женщин зависит от региона проживания и возраста. У женщин Мурманской области в возрасте 20–29 и 30–39 лет соответственно выше содержание лейкоцитов ($7,77 \pm 0,69$) и ($9,50 \pm 1,28$) · 10⁹ кл/л, уровень иммуносупрессии (CD8⁺) ($0,49 \pm 0,07$) и ($0,66 \pm 0,13$) · 10⁹ кл/л; HLA-DR-активации ($0,46 \pm 0,07$) и ($0,62 \pm 0,13$) · 10⁹ кл/л и пролактина ($29,30 \pm 14,52$) и ($18,40 \pm 3,24$) нг/мл, чем у жительниц Архангельской области, на фоне низкой активности фагоцитоза 35,50–38,54 % и выраженного Т-клеточного дефицита ($0,47 \pm 0,20$) и ($0,37 \pm 0,01$) · 10⁹ кл/л CD3⁺ и ($0,50 \pm 1,20$) и ($0,47 \pm 0,09$) · 10⁹ кл/л CD5⁺. Самый распространенный дефект иммунной защиты у северянок – низкий уровень активных фагоцитов и дефицит содержания Т-лимфоцитов (CD3⁺, CD5⁺) независимо от района проживания и возраста. **Выводы.** Соотношение иммуногормональных параметров у женщин характеризуется снижением активности адаптивного иммунитета, связанным с выраженным напряжением его гуморального звена (HLA-DR⁺, IgE) на фоне высокой клеточно-опосредованной цитотоксичности (CD8⁺) и повышенных концентраций пролактина, и наиболее характерно для жительниц Мурманской области старше 40 лет. Повышенное содержание клеток CD8⁺ в условиях дефицита CD3⁺ и CD5⁺ является резервным механизмом иммунной защиты.

Ключевые слова: иммунология репродукции, пролактин, фагоцитоз, иммуносупрессия, HLA-DR-активация

RELATIONS BETWEEN CYTOTOXIC LYMPHOCYTES AND PROLACTIN IN PHYSIOLOGICAL REGULATION OF THE ADAPTIVE IMMUNE RESPONSE IN WOMEN OF THE ARKHANGELSK AND MURMANSK REGIONS

¹O. E. Philippova, ¹E. Yu. Shashkova, ^{1,2}L. S. Shchegoleva

¹N. P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences Arkhangelsk, Russia; ²M. V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

Purpose: to study relations between cytotoxic activity of adaptive immune response and prolactin in healthy female residents of the Arkhangelsk and Murmansk regions. **Methods.** The sample consisted of 145 women aged 20–49 years. Lymphocytes CD3⁺, CD5⁺, CD8⁺, HLA-DR⁺ were phenotyped using Nikon Eclipse 50i microscope. Serum immunoglobulins E were assessed by ELISA method using on Stat Fax 2100. Prolactin levels were measured using ELISYS Uno (Germany). All data were analyzed using Statistica 6.0 software. **Results.** Women aged 20–39 and 40–49 years respectively from the Murmansk region had higher counts of leucocytes (7.77 ± 0.69) and (9.50 ± 1.28) · 10⁹ C/l, CD8 (0.49 ± 0.07) and (0.66 ± 0.13) · 10⁹ C/l; HLA-DR-activation (0.46 ± 0.07) and (0.62 ± 0.13) · 10⁹ C/l and prolactin levels (29.30 ± 14.52) and (18.40 ± 3.24) ng/ml, compared to women from the Arkhangelsk region. CD3 levels were 0.47 ± 0.20 and 0.37 ± 0.01 · 10⁹ C/l while the corresponding numbers for CD5 were 0.50 ± 1.20 and 0.47 ± 0.09 · 10⁹ C/l. The most widespread defect of immune protection among residents of the Russian North is a low level of active phagocytes and deficiency of T-lymphocytes (CD3, CD5) irrespective of the area of residence and age. **Conclusions.** The ratio of immunohormonal parameters in women is characterized by the decrease of the activity of adaptive immunity related to its humoral regulation (HLA-DR, IgE) combined with high cellular mediated cytotoxicity (CD8) and the increased concentration of prolactin, which is more typical for women aged 40+ in the Murmansk region. An increase in CD8 counts combined with CD3 and CD5 deficiency is a reserve mechanism of immune protection.

Key words: reproductive immunology, prolactin, phagocytosis, immunosuppression, HLA-DR activation

Библиографическая ссылка:

Филиппова О. Е., Шашкова Е. Ю., Щёголева Л. С. Соотношение цитотоксических лимфоцитов и пролактина у женщин Архангельской и Мурманской областей в процессе физиологической регуляции адаптивного иммунного ответа // Экология человека. 2019. № 4. С. 25–30.

Philippova O. E., Shashkova E. Yu., Shchegoleva L. S. Relations between Cytotoxic Lymphocytes and Prolactin in Physiological Regulation of the Adaptive Immune Response in Women of the Arkhangelsk and Murmansk Regions. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 25-30.

В настоящее время, когда северные и арктические территории вновь находятся под пристальным вниманием мирового сообщества, следует обратить особое внимание на главную составляющую, обе-

спечивающую успех в реализации самых грандиозных планов Российской Федерации, — человеческий ресурс, а именно женское население. В настоящий момент физиологическая роль иммунной системы

трактуются как защитная и цензорная. По данным Добродеевой Л. К., Филипповой О. Е. доказано, что в условиях воздействия на организм человека комплекса различных неблагоприятных факторов меняющейся среды развивается практически однотипная реакция с риском формирования функциональной недостаточности Т-лимфоцитов, иммуноглобулинов и фагоцитарной защиты [8, 9].

В современной литературе достаточно часто обсуждаются данные об иммунном ответе жителей территорий, обобщенно называемых «северными», в частности о содержании иммуноглобулинов и хелперной активности в основном при патологии, в том числе женской [2, 3, 5, 14, 15]. Важно определить эффективность иммунной защиты человека и характер активности иммунных реакций при различных соотношениях лимфоцитов-супрессоров и В-клеток-активаторов иммунных реакций в северных областях, отличающихся между собой не только климатическими особенностями, но и различной экологической нагрузкой (Архангельская область — космодром, военно-промышленный комплекс и Мурманская область — горно-обогатительный комбинат нефелиновых руд). Регуляция активности иммунитета посредством клеточно-опосредованной цитотоксичности играет ключевую роль и в формировании адаптационно-компенсаторных реакций организма человека в норме и при патологии [9]. В настоящий момент нет сведений о фоновых изменениях иммунологических параметров с учетом содержания пролактина у женщин в зависимости от возраста и района проживания. В данном исследовании произведена попытка оценить состояние иммуногормонального фона женщин с учетом структуры выявленных дисбалансов в зависимости от региона и возраста.

Цель исследования — определить соотношение цитотоксической активности адаптивных иммунных реакций и пролактина у практически здоровых женщин, проживающих в Архангельской и Мурманской областях.

Методы

Обследованы 106 женщин в возрасте 20–39 лет ($n = 53$) и 40–49 лет ($n = 53$), жительницы Архангельской области (п. Совполье, Мезенский район), и 39 женщин в возрасте 20–39 ($n=20$) и 40–49 лет ($n=19$), жительницы Мурманской области (п. Ревда, с расположенным в нем Ловозерским горно-обогатительным комбинатом).

Комплекс иммунологического обследования людей включал изучение фагоцитарной активности нейтрофилов, лейкоцитов, фенотипирование лимфоцитов с рецепторами CD3⁺, CD5⁺, CD8⁺, HLA-DR⁺; Ig E. Кровь для исследования брали из локтевой вены в объеме 6 мл натощак. Содержание лейкоцитов определяли стандартным методом подсчета клеток в камере Горяева. Фагоцитарную активность нейтрофилов определяли путем инкубации клеток крови с частицами латекса в течение 30 минут при темпера-

туре 37 °С. В мазках, окрашенных по Романовскому — Гимза, подсчитывали относительное содержание активных фагоцитов и среднее фагоцитарное число на 100 нейтрофильных лейкоцитов, использовали микроскоп Nikon Eclipse 50i. Содержание субпопуляций Т-лимфоцитов (CD8⁺, HLA-DR⁺) определяли методом непрямой иммунопероксидазной реакции с использованием моноклональных антител (МедБио-Спектр, 2014–2015, г. Москва) на препаратах лимфоцитов типа «высушенная капля» с использованием пероксидазного конъюгата и окрашиванием раствором хромогена для анализа в иммерсионной микроскопии, микроскоп Nikon Eclipse 50i. Количественное определение сывороточных иммуноглобулинов Е (ЗАО «ВЕКТОР-БЕСТ», Россия, 2014–2015 г.) проводили методом иммуноферментного анализа (ИФА) на планшетном иммуноферментном анализаторе Stat Fax 2100. Уровни пролактина определяли методом ИФА на планшетном анализаторе для ИФА ELISYS Uno (Германия) с использованием наборов фирмы Human GmbH (Германия). Результаты исследования обработаны статистически с определением средних величин и представлены как средняя арифметическая \pm ошибка средней ($M \pm m$), значимость различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Статистическая достоверность присваивалась при значении $p < 0,05$. Корреляции между показателями устанавливали, используя коэффициент ранговой корреляции Спирмена с определением корреляции (r) и оценкой его достоверности. Применялся пакет компьютерной программы Statistica 6.0.

Результаты

Представляло интерес изучить соотношение цитотоксической активности адаптивных иммунных реакций и пролактина у практически здоровых женщин, проживающих в Архангельской и Мурманской областях. Уровень лейкоцитов и фагоцитарной активности в обеих возрастных группах женщин Архангельской области находится в средних пределах физиологических норм (табл. 1). Как видно из представленных данных, самый значимый дефицит Т-клеток как всей популяции (CD5⁺), так и зрелой дифференцированной её части (CD3⁺) выявлен у 100 % обследуемых лиц с тенденцией зависимости от возраста и района проживания (табл. 1, 2). В то же время анализ показал, что у женщин как до 40, так и старше 40 лет среднее содержание фенотипов лимфоцитов CD8⁺ крайне высоко: $(0,53 \pm 0,04)$ и $(0,49 \pm 0,05) \cdot 10^9$ кл/л соответственно. У женщин Мурманской области, проживающих в районе горно-обогатительного комбината (ГОК), уровень лейкоцитов значительно выше, чем у жительниц Архангельской области, на фоне низкой активности фагоцитоза (табл. 2) и ещё более великих значений иммуносупрессии CD8⁺ $(0,53 \pm 0,09)$ и $(0,66 \pm 0,13) \cdot 10^9$ кл/л независимо от возраста. Выявлено повышенное содержание лимфоцитов с рецепторами к антигенам гистосовместимости II

класса (HLA-DR⁺) у всех обследуемых лиц с явным превосходством у жительниц Мурманской области старше 40 лет. Известно, что в дискомфортных климатоэкологических условиях Севера состояние иммунной системы человека отличается низким содержанием в крови Т-лимфоцитов, IgA на фоне повышенных концентраций IgM, IgG, IgE, ЦИК. На Севере выше содержание в крови иммунокомпетентных клеток, экспрессирующих активационные рецепторы: CD25⁺, CD71⁺, а также цитотоксических Т-лимфоцитов, клеток CD95⁺ и TNF-альфа [4]. В настоящее время очень мало сведений о механизмах, через которые цитотоксические лимфоциты способны стимулировать клеточный и гуморальный иммунные ответы, влиять на содержание провоспалительных и противовоспалительных цитокинов [1, 6, 13].

Таблица 1

Иммуноромональная характеристика женщин Архангельской области (M ± m)

Параметр	N	Средние данные, n = 106	
		20–39 лет, n = 53	40–49 лет, n = 53
Лейкоциты L · 10 ⁹ кл/л	4–9	6,01 ± 0,25	5,74 ± 0,28
% активн. фагоцитов	>50	50,76 ± 1,10	52,86 ± 1,72***
CD3 ⁺ · 10 ⁹ кл/л	1,00–1,50	0,74 ± 0,05	0,63 ± 0,20
CD5 ⁺ · 10 ⁹ кл/л	1,50–2,00	0,97 ± 0,08	0,89 ± 0,010
CD8 ⁺ · 10 ⁹ кл/л	0,2–0,4	0,53 ± 0,04	0,49 ± 0,05
HLA-DR · 10 ⁹ кл/л	0,34–0,72	0,55 ± 0,03	0,50 ± 0,05
ProI, нг/мл	1,2–19,5	20,50 ± 2,33	18,04 ± 1,52
Ig E(МЕ/л)	20–100	65,34 ± 5,88	88,43 ± 3,99**

Примечание. Значимость различий: ** – p < 0,01, *** – p < 0,001

Результаты, полученные в исследовании, и сравнение их с немногочисленными литературными данными позволяют считать, что цитотоксические лимфоциты (CD8⁺) определяют клеточно-опосредованную цитотоксическую активность в реакциях иммунного гомеостаза на Севере европейской территории России. Лимфоидные субпопуляции супрессоров-киллеров CD8⁺ выполняют компенсаторную и защитную роль: в работе сделана попытка выявления механизма замещения (компенсации) выраженного Т-клеточного дефицита всех Т-клеток CD5⁺ и зрелых функционально-активных дифференцированных CD3⁺ в условиях приарктического региона. Физиологическая значимость содержания цитотоксических лимфоцитов CD8⁺ в более ранних наших исследованиях [7, 10, 11, 12] подтверждается большой частотой распространения их повышенных уровней у 62,50 % кочевых лиц (чумработниц), 45,34 % оседлых жителей до 40 лет и 59,04 % лиц старше 40, а также в данном нашем исследовании практически здоровых женщин-северянок (соответственно частота распространения повышенной иммуносупрессии составляет 49,27 % у молодых и 59,98 % у женщин старше 40 лет Ар-

хангельской области; 51,34 и 79,90 % у жительниц Мурманской области).

Повышенное содержание фенотипов лимфоцитов CD8⁺ взаимосвязано с дефицитом фагоцитарной активности (r = 0,80); с дефицитом зрелых функционально активных CD3⁺ клеток (r = 0,78) и повышенным содержанием пролактина (r = 0,80) у 27–89 % обследованных (в 3 раза чаще у женщин Мурманской области) в зависимости от показателя.

Большая частота распространения повышенных концентраций цитотоксических лимфоцитов (CD8⁺) у лиц при адаптации к меняющимся условиям среды, в экстремальных условиях севера, при адаптации в условиях повышенной экологической нагрузки (ГОК) подтверждает физиологическую роль клеточно-опосредованных реакций иммуносупрессии в компенсаторно-приспособительном механизме адаптации организма человека. Иными словами, активированное состояние клеточного звена иммунитета у лиц приарктического региона (особенно в условиях ГОК) предопределяет напряжение в иммунной системе, выражающееся высокими концентрациями лимфоидных популяций Т-супрессоров, В-клеточной активностью, активностью HLA-DR⁺ на фоне выраженного дефицита зрелых функционально активных Т-клеток. Длительное некомпенсируемое напряжение в системе иммунитета способствует развитию вторичных экологически зависимых иммунных дисбалансов, проявляющихся вероятным ростом частоты заболеваемости жителей и хронизацией патологических процессов.

В обеих обследуемых группах в 30,00 % случаев уровень пролактина достаточно высок и составляет у лиц до 39 лет 20,50 нг/мл и 18,04 нг/мл у лиц старше 40 лет; у этих же лиц выявлено высокое содержание IgE, в среднем 65,34 и 88,43 МЕ/мл соответственно (Архангельская область).

Анализ иммунограммы женщин Архангельской области показал, что в младшей возрастной группе супрессорная и В-клеточная активность (HLA-DR⁺) выше, в пределах 20,00–30,00 % случаев, чем в старшей возрастной группе. Повышенное содержание пролактина и IgE сравнимо у обследуемых женщин в долевом соотношении независимо от возраста в 30,00 % случаев.

Корреляционный анализ иммуноромональных параметров у женщин Архангельской области в зависимости от возраста показал, что умеренные корреляционные связи в младшей возрастной группе женщин зафиксированы в пределах 0,60–0,74 между пролактином и содержанием активированных клеток HLA-DR⁺. В то же время у женщин старшей возрастной группы сильные корреляционные взаимосвязи в пределах r = 0,85 отмечены между пролактином, содержанием активированных клеток HLA-DR⁺ и Т-клеток CD8⁺. Таким образом, количество сильных корреляционных взаимосвязей в старшей возрастной группе значительно выше и разнообразней. Следует предположить, что уровни пролактина косвенно

взаимосвязаны с изменением концентраций активированных клеток HLA-DR⁺ у лиц старше 40 лет.

Проведен иммуногормональный анализ у женщин Мурманской области в зависимости от возраста (табл. 2). Выявили лейкоцитоз у 30,00 % лиц до 40 лет и у 42,00 % лиц старше 40 лет; нейтрофилёз в пределах $4,5 \cdot 10^9$ кл/л у 50,00 % обследуемых лиц. В то же время доля активных фагоцитов достигала в среднем 36,50 % с незначительной разницей по возрасту.

Таблица 2

Имуногормональная характеристика женщин Мурманской области (M ± m)

Параметр	N	Средние данные, n = 39	
		20–39 лет, n = 20	40–49 лет, n = 19
Лейкоциты L · 10 ⁹ кл/л	4–9	7,77 ± 0,69	9,50 ± 1,28***
% активн. фагоц.	>50	35,50 ± 1,20	38,54 ± 1,60
CD3 ⁺ · 10 ⁹ кл/л	1,00–1,50	0,47 ± 0,20	0,37 ± 0,01
CD5 ⁺ · 10 ⁹ кл/л	1,50–2,00	0,50 ± 1,20***	0,47 ± 0,03***
CD8 ⁺ · 10 ⁹ кл/л	0,2–0,4	0,49 ± 0,07	0,66 ± 0,13
HLA-DR · 10 ⁹ кл/л	0,34–0,72	0,46 ± 0,07	0,62 ± 0,13
Prol, нг/мл	1,2–19,5	29,30 ± 14,52	18,40 ± 3,24***
Ig E (МЕ/л)	2–100	62,71 ± 3,99	58,11 ± 7,04***

Примечание. Значимость различий: *** – p < 0,001.

У женщин Мурманской области выявлено заметное повышение концентрации супрессоров, клеток-активаторов: в среднем в 1,5 раза выше у лиц старшей возрастной группы от 20,00 до 50,00 % соответственно. Уровень пролактина в младшей возрастной группе в 1,5 раза превышал крайнюю границу допустимых физиологических норм; у лиц старшей возрастной группы данный показатель составил 18,4 нг/мл (при норме 19,5 нг/мл) у 42,00 % женщин. Содержание IgE выше 60 МЕ/мл отмечали в среднем в 15,00 % случаев вне зависимости от возраста.

Корреляционный анализ исследуемых параметров не выявил ни сильных, ни умеренных взаимосвязей у женщин Мурманской области вне зависимости от возраста. Следует отметить, что связи в пределах 0,43–0,47 отмечены между пролактином и IgE в младшей возрастной группе и уровнем нейтрофилов – в старшей. В отличие от лиц до 40 лет в старшей возрастной группе обнаружены сильные корреляционные взаимосвязи между пролактином и HLA-DR⁺.

Обсуждение результатов

Исследование показало, что наибольшее разнообразие иммунных дисбалансов (от 9,21 до 92,10 % в зависимости от показателя) и лейкоцитоз взаимосвязаны с районом проживания (Мурманская область) и высоким фоновым уровнем пролактина у обследуемых женщин (79,15 %, r = 0,74; p < 0,005). Полученные в исследовании результаты позволяют утверждать, что в условиях воздействия на организм человека комплекса разных неблагоприятных фак-

торов меняющейся среды (промышленные районы, приарктический регион) развивается практически однотипная реакция повышения фоновых уровней антитело-зависимых, клеточно-опосредованных реакций, что сокращает резервные возможности регуляции с риском формирования функциональной недостаточности Т-лимфоцитов, дисиммуноглобулинемии и дефицита фагоцитарной защиты: в среднем дефицит активных фагоцитов 85,53 % среди жителей промышленных районов и 92,10 % у проживающих в Архангельской области, дефицит содержания всех Т-лимфоцитов соответственно 45,39 и 51,31 %. У проживающих в неблагоприятной климатической обстановке выше частота регистрации повышенных концентраций IgE (23,03 и 9,21 %). Разнообразные соотношения содержания цитотоксических лимфоцитов (CD8⁺), всей Т-клеточной популяции (CD5⁺), зрелых функционально-активных Т-клеток (CD3⁺), В-клеток-активаторов (HLA-DR⁺) в сочетании с различными уровнями пролактина определяют особенности формирования иммунных дисбалансов у жительниц дискомфортных климатоэкологических территорий вне зависимости от возраста. Повышенная концентрация пролактина (>19,5 нг/мл), сочетанные с широким разнообразием иммунологических дисбалансов (высокая цитотоксическая и В-клеточная активность (CD8⁺, HLA-DR⁺) на фоне выраженного дефицита Т-клеточной популяции (CD3⁺, CD5⁺), выявлены с широкой частотой распространения среди 65,00 % женщин Мурманской области и среди 48,00 % жительниц Архангельской области, а именно старшей возрастной группы.

Таким образом, можно сделать вывод, что особенностью иммуногормональной регуляции у обследованного контингента женщин является снижение активности адаптивного иммунитета, связанное с выраженным напряжением его гуморального звена (HLA-DR⁺, IgE) на фоне высокой клеточно-опосредованной цитотоксичности (CD8⁺) и повышенных концентраций пролактина, и наиболее характерно для жительниц Мурманской области старше 40 лет. Выявленные в работе физиологические закономерности взаимного влияния процессов фагоцитарной активности и активации клеток с рецепторами CD8⁺ и HLA-DR⁺ у практически здоровых лиц могут быть использованы для оценки степени адаптации к условиям среды: повышение концентраций указанных Т-субпопуляций свидетельствует о напряжении клеточного звена адаптивного иммунного ответа. По нашему мнению, выявленный механизм компенсации (повышенное содержание CD8⁺ в условиях дефицита CD3⁺ и CD5⁺) является резервным механизмом иммунной защиты, активизируется в условиях экстремальных климатоэкологических, профессиональных факторов и образа жизни человека на Севере. Клеточно-опосредованная цитотоксическая активность сочетается с повышением содержания клеток с рецепторами HLA-DR⁺, пролактином, с возрастом и условиями жизни.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № АААА-А15-115122810184-6 в лаборатории физиологии иммунокомпетентных клеток ИФПА ФГБУН ФИЦКИА РАН.

Благодарности

Д.м.н., профессору Л. К. Добродеевой за организацию экспедиций в приполярные районы, д.б.н. Е. В. Типисовой за консультации по эндокринному статусу северян.

Авторство

Щёголева Л. С. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Филиппова О. Е. внесла существенный вклад в сбор материалов экспедиции в Архангельской и Мурманской областях, получение, анализ и интерпретацию данных; подготовила первый вариант статьи, анализ, статистику первичных данных, существенно переработала на предмет важного интеллектуального содержания; Шашкова Е. Ю. внесла существенный вклад в сбор материалов экспедиции, получение, анализ и интерпретацию данных, правку первого варианта статьи.

Филиппова Оксана Евгеньевна – ORCID 0000-0001-6117-0562; SPIN 8507-7525

Щёголева Любовь Станиславовна – ORCID 0000-0003-4900-402; SPIN 6859-2123;

Шашкова Елизавета Юрьевна – ORCID 0000-0002-1735-6690; SPIN 8137-0571

Список литературы

1. Добродеева Л. К., Сергеева Е. В. Состояние иммунной системы в процессе старения. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 136 с.

2. Корниенко Е. Б. Особенности иммунологической реактивности у женщин позднего репродуктивного возраста, проживающих на Севере: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Архангельск, 2002. 20 с.

3. Морозова О. С., Каббани М. С., Щёголева Л. С. Иммунный статус у женщин Ямало-Ненецкого автономного округа города Надыма // X международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные науки сегодня», North Charleston, SC, USA 29406, 2016. Т. 1. С. 12–14.

4. Морозова О. С., Каббани М. С., Туманова М. С., Щёголева Л. С. Особенности иммунных реакций у женщин в условиях Арктики // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны: сб. науч. трудов / отв. ред. д.э.н., проф. В. И. Павленко. Архангельск, 2016. С. 335–339.

5. Морозова О. С., Каббани М. С., Поповская Е. В., Щёголева Л. С. Физиологические реакции лимфоидных клеток у женщин с гипертонией на Севере // Российский иммунологический журнал, 2016. Т. 10 (19), № 2 (1) С. 161–163.

6. Пилипенко М. М. Неинвазивные иммунологические методы в контроле состояния психо-эндокринно-иммунного комплекса у лиц, подвергающихся воздействию стресса опасной работы: дис. ... канд. мед. наук. Челябинск, 2010. 188 с.

7. Пределы содержания лимфоцитов, цитокинов и иммуноглобулинов в сыворотке крови у жителей Архангельской области / Л.К. Добродеева [и др.] // Пределы физиологического колебания в периферической крови метаболитов, гормонов, лимфоцитов, цитокинов и иммуноглобулинов у

жителей Архангельской области: информ. материалы / под ред. Л. К. Добродеевой. Архангельск, 2005. С. 25–28.

8. Филиппова О. Е. Соотношение фенотипов лимфоцитов периферической крови у людей в процессе физиологической регуляции иммунного ответа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2015. 18 с.

9. Чиркин В. В., Карандашов В. И., Палеев Ф. Н. Иммунореабилитация (патофизиологические и клинические аспекты). М.: Медицина, 2003. 400 с.

10. Щёголева Л. С., Сергеева Т. Б., Шашкова Е. Ю., Филиппова О. Е. Иммунный гомеостаз у кочующего и оседлого населения Европейского севера России / Институт физиологии природных адаптаций Уральского отделения РАН. Архангельск, 2016. 102 с.

11. Щёголева Л. С., Сергеева Т. Б., Шашкова Е. Ю., Филиппова О. Е., Поповская Е. В. Особенность иммунологической активности периферической крови у лиц разных возрастных групп приполярного региона // Экология человека, 2016. № 8. С. 15–20.

12. Janas M. L., Groves P., Kienzle N., Kelso A. IL-2 regulates perforin and granzyme gene expression in CD8⁺ T cells independently of its effects on survival and proliferation // J Immunol. 2005. Vol. 175 (12). P. 8003–8010.

13. Shen D. T., Ma J. S., Mather J. [et al.]. Activation of primary T lymphocytes results in lysosome development and polarized granule exocytosis in CD4⁺ and CD8⁺ subsets, whereas expression of lytic molecules confers cytotoxicity to CD8⁺ T cells // J. Leukoc. Biol. 2016. Vol. 80, N 4. P. 827–837.

14. Tipisova E. V., Shchegoleva L. S., Dobrodeeva L. K., Tkachev A. V. Hormonal regulation of immune response in the adaptation to North // 12th International Congress of immunology and 4th Annual Conference of FOCIS. Montreal, Quebec, Canada: 2004. P. 183.

15. Willis C., Morris J. M., Danis V., Gallery E. D. Cytokine production by peripheral blood monocytes during the normal human ovulatory menstrual cycle // Hum. Reprod. 2003. Vol. 18, N 6. P. 1173–1178.

References

1. Dobrodeeva L. K., Sergeeva E. V. *Sostoyanie immunnnoy sistemy v protsesse starenia* [The immune system in the aging process]. Yekaterinburg, 2014, 136 p.

2. Kornienko E. B. *Osobennosti immunologicheskoi reaktivnosti u zhenshchin pozdnego reproduktivnogo vozrasta, prozhivayushchikh na Severe (avtoref. kand. diss.)* [Features of immunological reactivity at the women of late reproductive age living in the north. Author's Abstract of Kand. Diss.]. Arkhangelsk, 2002, p. 20.

3. Morozova O. S., Kabbani M. S., Shchegoleva L. S. *Immunnyi status u zhenshchin Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga goroda Nadyma* [The immune status at women of the Yamalo-Nenets Autonomous Area of the city of Nadym]. In: *X mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Fundamental'nye i prikladnye nauki segodnya»* [X international scientific and practical conference "Fundamental and Applied Sciences Today"], North Charleston, SC, USA 29406, 2016, vol. 1, pp.12-14.

4. Morozova O. S., Kabbani M. S., Tumanova M. S., Shchegoleva L. S. *Osobennosti immunnykh reaktivnosti u zhenshchin v usloviyakh Arktiki* [Features of immune reactions at women in the conditions of the Arctic]. In: *Prirodnye resursy i kompleksnoe osvoenie pribrezhnykh raionov Arkticheskoy zony* [Natural resources and complex development of coastal areas of the Arctic zone]. Collection of scientific works edition prof. V. I. Pavlenko. Arkhangelsk, 2016, pp. 335-339.

5. Morozova O. S., Kabbani S. M., Popovskaya E. V., Shchegoleva L. S. Physiological reactions of lymphoid cages at women with hypertension in the North. *Rossiiskii immunologicheskii zhurnal* [Russian immunological journal], 2016, 10 (19), 2 (1), pp. 161-163. [In Russian]
6. Pilipenko M. M. *Neinvazivnye immunologicheskie metody v kontrole sostoyaniya psikho-endokrinnno-immunnogo kompleksa u lits, podvergayushchikhsya vozdeistviyu stressa opasnoi raboty (kand. diss.)* [Noninvasive immunological methods in control of a state psycho - an endocrine and immune complex at the persons which are affected by a stress of dangerous work Author's Kand. Diss.]. Chelyabinsk, 2010, 188 p.
7. Predely sodержaniya limfotsitov, tsitokinov i immunoglobulinov v syvorotke krovi u zhitelei Arkhangel'skoi oblasti. L. K. Dobrodeeva i dr. [Limits of maintenance of lymphocytes, tsitokin and immunoglobulins in blood serum at residents of the Arkhangelsk region. L. K. Dobrodeeva [et al.]. In: *Predely fiziologicheskogo kolebaniya v perifericheskoi krovi metabolitov, gormonov, limfotsitov, tsitokinov i immunoglobulinov u zhitelei Arkhangel'skoi oblasti* [Limits of physiological fluctuation in perifericheskoy blood of metabolites, hormones, lymphocytes, tsitokin and immunoglobulins at residents of the Arkhangelsk region]. Inform. Materials under the editorship of L. K. Dobrodeeva. Arkhangelsk, 2005, pp. 25-28.
8. Philippova O. E. *Sootnoshenie fenotipov limfocitov perifericheskoy krovi u ljudej v processe fiziologicheskoy reguljacii immunnogo otveta (avtoref. kand. diss.)* [The ratio of phenotypes of peripheral blood lymphocytes of people in the physiological regulation of immune response. Author's Abstract of Kand. Diss.]. Arkhangelsk, 2015, p. 18.
9. Chirkin V. V., Karandashov V. I., Paleev F. N. *Immunoreabilitatsiya (patofiziologicheskie i klinicheskie aspekty)* [Immunorehabilitation (pathophysiological and clinical aspects)]. Moscow, Meditsina Publ., 2003, 400 p.
10. Shchegoleva L. S., Sergeeva T. B., Shashkova E. Yu., Philippova O. E. *Immunnyi gomeostaz u kochuyushchego i osedlogo naseleniya evropeiskogo severa Rossii* [Immune homeostasis at the wandering and settled population of the European North of Russia]. Arkhangelsk, 2016, 102 p.
11. Shchegoleva L. S., Sergeeva T. B., Shashkova E. Yu., Philippova O. E., Popovskaya E. V. A feature of the immunological activity of peripheral blood in individuals of different age groups in the circumpolar region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 8, pp. 15-20. [In Russian]
12. Janas M. L., Groves P., Kienzle N., Kelso A. IL-2 regulates perforin and granzyme gene expression in CD8⁺ T cells independently of its effects on survival and proliferation. *J Immunol.* 2005, 175 (12), pp. 8003-8010.
13. Shen D. T., Ma J. S., Mather J. [et al.]. Activation of primary T lymphocytes results in lysosome development and polarized granule exocytosis in CD4⁺ and CD8⁺ subsets, whereas expression of lytic molecules confers cytotoxicity to CD8⁺ T cells. *J. Leukoc. Biol.* 2016, 80 (4), pp. 827-837.
14. Tipisova E. V., Shchegoleva L. S., Dobrodeeva L. K., Tkachev A. V. Hormonal regulation of immune response in the adaptation to North. *12th International Congress of immunology and 4th Annual Conference of FOCIS*. Montreal, Quebec, Canada, 2004, p. 183.
15. Willis C., Morris J. M., Danis V., Gallery E. D. Cytokine production by peripheral blood monocytes during the normal human ovulatory menstrual cycle. *Hum. Reprod.* 2003, 18 (6), pp. 1173-1178.

Контактная информация:

Щеголева Любовь Станиславовна – доктор биологических наук, профессор, зав. лабораторией физиологии иммунокомпетентных клеток Института физиологии природных адаптаций ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики Российской академии наук»

Адрес: 163000, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, д. 23
E-mail: shchegoleva60@mail.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

© 2019 г. Т. М. Климова, А. А. Кузьмина, И. Ш. Малогулова

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова», Медицинский институт, г. Якутск

Цель исследования – анализ территориальной специфики смертности населения Республики Саха (Якутия) и поиск факторов, влияющих на показатели смертности. *Методы.* Для анализа использованы статистические данные по республике. При изучении динамики смертности проведено аналитическое выравнивание динамического ряда методом наименьших квадратов. Для устранения неоднородности в возрастной структуре населения муниципальных образований использован метод прямой стандартизации. Разделение территорий на кластеры с разным уровнем общей смертности проведено методом иерархического кластерного анализа. *Результаты.* Сравнение 35 муниципальных образований республики показало наличие значительных территориальных различий в уровнях смертности, которые сохраняются при устранении разницы в возрастной структуре населения. Кластер с высоким уровнем смертности отличался от других по смертности от новообразований, болезней системы кровообращения и причин смерти, обусловленных алкоголем. При этом не выявлено значимых различий между кластерами в половой структуре, уровнях отдельных экологических и социально-экономических показателей. Анализ ресурсов здравоохранения показал достаточную мощность амбулаторно-поликлинических организаций, обеспеченность кадрами и койками. Установлено наличие отрицательной корреляционной связи между числом лиц с высоким образовательным уровнем и общей смертностью ($r = -0,544$, $p = 0,001$), смертностью от болезней системы кровообращения ($r = -0,755$, $p < 0,001$), внешних причин ($r = -0,465$, $p = 0,045$), транспортных травм ($r = -0,480$, $p = 0,038$), от причин, обусловленных алкоголем ($r = -0,518$, $p = 0,023$). В самом неблагоприятном по смертности кластере число лиц с высоким образовательным статусом было значимо ниже, чем в двух остальных. *Выводы.* Поиск причин различий в смертности населения может дать ключ к управлению демографической ситуацией в регионе. Одной из мер, направленных на сокращение смертности в регионе, наряду с повышением уровня и качества жизни населения должно быть изменение поведения людей, формирование новых стратегий самосохранительного поведения, соответствующих современным реалиям.

Ключевые слова: смертность, Республика Саха (Якутия), социально-экономический статус, социальные детерминанты, кластерный анализ, уровень образования

REGIONAL ASPECTS OF MORTALITY IN THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

T. M. Klimova, A. A. Kuzmina, I. Sh. Malogulova

M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Medical institute, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

The purpose of the study was to analyze geographic variations in mortality in the Republic of Sakha (Yakutia) and factors associated with mortality. *Methods.* Mortality data were obtained from the republican statistical service. Secular trends were studied by the least squares method. Direct standardization was applied to eliminate heterogeneity in the age structure of the population of the municipalities of the republic. The division of territories into clusters with different levels of total mortality was performed using hierarchical cluster analysis. *Results.* Significant geographic variations in mortality levels were observed both before and after standardization. The cluster with high mortality rate differed from the others in mortality from neoplasms, cardiovascular diseases and causes of death caused by alcohol. At the same time, there were no significant differences between clusters by gender, ecologic and socio-economic indicators. Sufficient capacity of outpatient and polyclinic organizations, provision of personnel and beds in the republic was observed. Negative correlation between the number of persons with a high educational level and total mortality ($r = -0.544$, $p = 0.001$), mortality from cardiovascular diseases ($r = -0.755$, $p < 0.001$), external causes ($r = -0.465$, $p = 0.045$), traffic injuries ($r = -0.480$, $p = 0.038$), from causes by alcohol ($r = -0.518$, $p = 0.023$) were found. In the least favorable cluster the number of people with high education was significantly lower than in the other two. *Conclusions.* We found significant variations in mortality across the 35 settings in the republic. Activities directed at health promotion and health protection corresponding to realities of contemporary society should be developed with the further going aim to reduce mortality in the Sakha (Yakutia) Republic.

Key words: mortality, socioeconomic status, social determinants, cluster analysis, level of education.

Библиографическая ссылка:

Климова Т. М., Кузьмина А. А., Малогулова И. Ш. Региональные аспекты смертности населения Республики Саха (Якутия) // Экология человека. 2019. № 4. С. 31–38.

Klimova T. M., Kuzmina A. A., Malogulova I. Sh. Regional Aspects of Mortality in the Republic of Sakha (Yakutia). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 31-38.

Республика Саха (Якутия) — крупнейший субъект Российской Федерации, расположенный на северо-востоке Азиатского материка. Регион является уникальным по суровости климата, характеризующегося продолжительным периодом отрицательных температур, абсолютной величиной минимальной

температуры и значительной разницей температур в холодные и теплые периоды года. В республике действует время трёх часовых поясов (UTC+9, +10, +11). На площади 3,1 млн км² по состоянию на 1 января 2018 г. проживает 964,3 тыс. человек (плотность населения — 0,31 чел./км²). По данным переписи

2010 г., национальный состав населения представлен якутами (45,5 %), русскими (41,2 %), украинцами (3,6 %), эвенками (1,9 %), эвенами (1,2 %), другими национальностями (6,6 %). Территория республики разделена на административно-территориальные единицы, куда входят 34 района (улуса) и два городских округа. В регионе с такими характеристиками предполагаются различия в возрастном составе населения, разнообразие природно-климатических условий, неоднородность показателей социально-экономического развития и ресурсного обеспечения здравоохранения, что, несомненно, отражается на демографических показателях, в том числе и смертности населения.

Анализ показателей смертности необходим для оценки эффективности социально-экономической политики и распределения ресурсов. При этом учет особенностей отдельных территорий позволит определить потенциальные возможности управления демографической ситуацией в регионе.

В связи с этим целью исследования был анализ территориальной специфики смертности населения Республики Саха (Якутия) и поиск возможных факторов, влияющих на показатели смертности.

Методы

Для анализа использованы статистические данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия) и Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия) [2–4, 8, 14]. Показатели двух городских округов (Якутск и Жатай) были объединены и приводятся под названием г. Якутск. При изучении уровня смертности за 10-летний период проведено аналитическое выравнивание динамического ряда методом наименьших квадратов с расчетом среднего темпа прироста. Для устранения неоднородности в возрастной структуре населения муниципальных образований республики использован метод прямой стандартизации. За стандарт принята возрастная структура населения Республики Саха (Якутия) по состоянию на 1 января 2016 г. Статистический анализ данных был выполнен в пакете IBM SPSS STATISTICS 22. Разделение муниципальных образований на кластеры с разным уровнем общей смертности проведено с использованием метода иерархического кластерного анализа. Определение оптимального числа кластеров проводили путем анализа шагов агломерации и сравнения кластерных моделей с разным числом кластеров. В качестве метода кластеризации был выбран метод Ward, для определения степени схожести (различия) объектов исследования — квадрат евклидова расстояния. Проверка соответствия распределения количественных переменных нормальному закону проведена с использованием критерия Шапиро — Уилка. В связи с тем, что распределение большинства количественных переменных отличалось от нормального, данные представлены в виде медианы (Me) и межквартильного (25 и 75 %) распределения в формате $Me (Q_1; Q_3)$.

При сравнении групп использован непараметрический дисперсионный анализ Краскела — Уоллиса. Для анализа взаимосвязи между изучаемыми переменными применяли ранговый корреляционный анализ по Спирмену, частный корреляционный анализ. Критическое значение уровня статистической значимости различий (p) принималось равным 5 %.

Результаты

За анализируемый период средние темпы прироста/убыли выровненных рядов динамики свидетельствуют о снижении либо стабилизации показателей смертности в большинстве муниципальных образований и республике в целом (табл. 1). В районах с некоторым увеличением показателя средние темпы прироста составили менее 1 %.

Анализ коэффициентов общей смертности в разрезе районов показал наличие существенных различий (см. табл. 1). Так, по данным 2016 г., показатели варьировали от 6,3 до 15,7 на 1 000 населения (по республике в целом в 2016 г. — 8,4). Территориальные различия наблюдались и в другие анализируемые периоды.

Как известно, показатели смертности связаны с возрастом населения. Анализ возрастной структуры населения муниципальных образований республики показал, что доля лиц старше трудоспособного (женщины 55 лет и старше, мужчины 60 лет и старше) возраста составляла от 10 % в Анабарском до 22 % в Верхнеколымском районе (табл. 2). Ранговый корреляционный анализ по Спирмену выявил наличие положительной связи между долей населения старше трудоспособного возраста и показателем общей смертности ($r = 0,603$, $p < 0,001$), смертностью от болезней системы кровообращения ($r = 0,586$, $p < 0,001$), смертностью от новообразований ($r = 0,605$, $p < 0,001$). При этом не установлены корреляционные взаимосвязи между смертностью от внешних причин и возрастом населения ($r = -0,155$, $p = 0,755$). После устранения путем стандартизации различий в возрастной структуре сравниваемых совокупностей населения установлено, что стандартизованные показатели общей смертности варьировали от 6,6 до 14,9 на 1 000 населения. В девяти муниципальных образованиях показатели были ниже, чем в среднем по республике (8,4 на 1 000 населения). Наиболее высокие показатели смертности наблюдались в Абыйском, Алданском, Оймяконском, Среднеколымском и Усть-Янском районах.

Для группировки муниципальных образований со схожими в 2016 г. стандартизованными по возрасту показателями общей смертности использован метод иерархического кластерного анализа. В ходе анализа были сформированы три кластера с достаточным количеством наблюдений (см. табл. 2).

Первый кластер (медиана показателя общей смертности 13,5 на 1 000 населения) характеризовался наиболее высокими показателями смертности от новообразований, болезней системы кровообращения (БСК) и причин смерти, обусловленных алкоголем

Таблица 1

Коэффициенты общей смертности населения Республики Саха (Якутия) за период 2007–2016 гг. (на 1 000 населения)

Территория	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	\bar{T} пр/уб, %
Абыйский	12,7	14,8	14	10,6	10,9	9,7	12,5	13,2	11,2	15,7	0,1
Алданский	13,3	14,4	14,3	15,4	14,6	14,3	12,8	13,4	13,3	14,2	-0,5
Аллайховский	11,1	15,1	13,7	15,7	15,8	14,5	17,8	14,2	11,4	7,4	-2,3
Амгинский	10,6	9,1	11,7	9,3	8,1	9,2	8,2	9,1	8,3	7,8	-3,1
Анабарский	8,2	10,0	8,3	10,3	11	9,4	8,5	9,1	9,1	8,1	-0,7
Булунский	9,9	10,6	11,6	12	12,4	10	9,1	7,1	8,6	8,1	-3,9
Верхневиллюйский	8,4	11,8	10,4	8,6	9,9	9,1	9,7	9,8	7,6	8,8	-1,7
Верхнеколымский	12,3	15,7	15,4	16	11,9	15,6	11,7	13,5	12,4	13,2	-1,5
Верхоянский	12,8	13,0	13,2	13,8	12	11,4	12,2	11,0	11,7	9,8	-2,6
Виллюйский	10,7	10,5	11,3	10,4	9,5	10,5	9	8,6	8,5	9,1	-2,8
Горный	7,4	7,9	7,7	6,5	7,7	8,0	7,4	8,0	8,0	7,3	0,3
Жиганский	13,7	14,8	11	13,8	10,7	9,3	11,9	11,1	13,6	9,7	-2,6
Кобяйский	11,1	11,9	10,8	10,8	11,2	11,1	9,4	9,9	9,1	10,4	-2,0
Ленский	12,6	13,2	13,1	12,1	10,9	12,2	10,6	9,3	11,1	10,3	-3,0
Мегино-Кангаласский	10,6	10,6	9,3	9,5	9,1	10	9,4	9,4	9,1	9,0	-1,5
Мирнинский	6,8	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	6,4	6,5	6,3	-1,0
Момский	14,2	15,4	17,7	14,3	10,0	8,0	9,3	8,8	10,3	10	-6,9
Намский	8,4	8,7	8,4	7,2	8,3	6,8	7,0	7,8	6,1	7,3	-2,6
Нерюнгринский	7,9	9,3	9,0	8,8	8,8	9,6	8,3	8,7	9,0	8,7	0,2
Нижнеколымский	11,6	11,5	17	15,2	13,9	12,2	14,4	12,9	15	11	-0,3
Нюрбинский	12,3	11,9	11,2	10	9,5	10,5	9,3	9,8	8,5	10	-3,1
Оймяконский	11,7	12,6	11,6	13,5	17,5	14,5	11,9	14,4	11,9	13,5	0,8
Олекминский	12,5	13,4	13	13,7	13,7	11,8	11	11,4	10,7	10,3	-2,8
Оленекский	15,2	13,3	13,7	11,9	13,1	14,3	13,2	7,8	10,3	7,0	-6,0
Среднеколымский	13,3	12	11,2	14,2	12,9	12,8	13,1	12,1	9,4	12,1	-1,4
Сунтарский	9,8	10,2	10,2	11,2	10,1	10,9	9	10,7	8,7	9,5	-1,0
Таттинский	10,8	10,4	10,7	8,4	9,7	10	8,6	7,8	8,7	7,8	-3,4
Томпонский	11,6	11,5	10,9	11,8	12,2	11,4	9,9	8,6	9,3	9,8	-2,8
Усть-Алданский	10,2	10	8,6	8,9	7,7	9,7	9,4	8,4	8,0	9,4	-1,3
Усть-Майский	13,4	14,2	16,3	17,6	16,1	16,9	14,3	15,4	13,3	12,2	-1,2
Усть-Янский	12,1	12	12,2	10,9	15,6	14,3	14,6	11,4	13	12,2	0,7
Хангаласский	9,7	10,1	10,3	10,2	9,7	9,0	10,1	9	10,9	9,6	-0,2
Чурапчинский	9,6	8,8	8,7	10,4	9,9	8,2	7,8	7,4	8,3	6,4	-3,4
Эвено-Бытантайский	11,8	11,5	12,5	10,8	16,9	9,6	10,7	8,2	9,3	9,4	-3,6
г. Якутск*	8,3	8,5	8,2	8,4	7,3	7,4	7,1	7,0	7,0	6,7	-2,8
Республика Саха (Якутия)	9,6	10	9,8	9,8	9,4	9,3	8,7	8,6	8,5	8,4	-2,0

Примечания: \bar{T} пр/уб – средний темп прироста/убыли за 2007–2016 гг.; * – включены данные по городскому округу Жатай.

(табл. 3). Второй кластер (медиана показателя общей смертности 7,3 на 1 000 населения) включал 9 районов и г. Якутск и представлял собой наиболее благополучные по уровню смертности территории. В 3-й кластер (медиана показателя общей смертности 9,7 на 1 000 населения) вошли оставшиеся 20 районов. Показатели смертности в этой группе занимали промежуточное положение между 1-м и 2-м кластерами. Сформированные кластеры статистически значимо различались по уровню смертности от БСК и новообразований (классы II, IX), смертности от цереброваскулярных заболеваний. Не установлено статистически значимых различий по уровню смертности от внешних причин. Наблюдались существенные различия в смертности от причин, обусловленных алкоголем. При этом кластеры не различались по удельному весу смертности от БСК, новообразований и внешних причин в структуре общей смертности.

Младенческая смертность является показателем социально-экономического благополучия и развития сети здравоохранения в регионе. По данным за 2016 г., показатель младенческой смертности в Республике Саха (Якутия) составил 7,3 на 1 000 родившихся живыми. В динамике за 2007–2016 гг. после некоторого увеличения в 2012–2014-х, связанного с изменением критериев живорождения, показатель несколько снизился (средний темп убыли за период составил -0,1 %). Если рассматривать показатели младенческой смертности в разрезе муниципальных образований республики, то здесь также отмечаются существенные различия (от 0 до 29,9 на 1 000 родившихся живыми в 2016 г., см. табл. 2). Наличие скачкообразных колебаний показателя не дает возможности использовать для анализа показатели за один год. В связи с этим проведено аналитическое выравнивание динамического ряда методом наимень-

Таблица 2

Коэффициенты общей и младенческой смертности населения Республики Саха (Якутия) в 2016 году (на 1 000 населения)

Территория	Общая смертность, 2016 г.	Доля лиц старше трудоспособного возраста, %	Стандартизованный коэффициент общей смертности, 2016 г.	Младенческая смертность*
1-й кластер				
Абыйский	15,7	18,6	14,9	0
Алданский	14,2	20,5	12,1	2,3
Оймяконский	13,5	19,6	12,1	14,5
Среднеколымский	12,1	17,8	11,9	0
Усть-Янский	12,2	16,8	11,8	19,6
2-й кластер				
Аллаиховский	7,4	18,0	7,1	0
Амгинский	7,5	15,7	8,2	0
Горный	7,3	14,5	8,0	0
Мирнинский	6,3	12,7	6,8	7,4
Намский	7,3	14,5	7,9	0
Нерюнгринский	8,7	18,5	7,8	8,8
Оленекский	7,0	13,0	7,9	0
Таттинский	7,8	17,4	7,6	0
Чурапчинский	6,4	15,8	6,7	0
Г. Якутск#	6,7	15,3	6,6	6,3
3-й кластер				
Анабарский	8,1	10,3	10,4	0
Булунский	8,1	13,9	8,6	29,9
Верхневилуйский	8,8	13,0	10,0	0
Верхнеколымский	13,2	22,3	11,0	28,6
Верхоянский	9,8	15,6	10,1	0
Вилуйский	9,1	16,1	9,3	4,1
Жиганский	9,7	15,4	10,0	0
Кобяйский	10,4	16,2	10,4	20,8
Ленский	10,3	17,8	9,6	9,1
Мегино-Кангаласский	9,0	17,5	8,9	27,4
Момский	10,0	16,3	10,6	0
Нижнеколымский	11,0	17,7	10,4	27
Нюрбинский	10,0	16,2	10,2	5
Олекминский	10,3	17,9	9,6	21,1
Сунтарский	9,5	16,0	9,8	0
Томпонский	9,8	17,5	9,2	10,1
Усть-Алданский	9,4	16,5	9,6	0
Усть-Майский	12,2	21,8	10,2	14,5
Хангаласский	9,6	18,4	8,9	4,3
Эвено-Бытантайский	9,4	14,3	10,1	0

Примечания: * – средние уровни выровненного ряда за 10-летний период; # – включены данные по городскому округу Жатай.

ших квадратов и рассчитаны средние уровни ряда за 10-летний период. При сравнении кластеров по уровню младенческой смертности установлено, что хотя в 1-м кластере показатели были несколько выше, различия не достигали уровня статистически значимых.

Наряду с возрастной структурой населения на показатели смертности могут влиять различия в соотношении мужчин и женщин. Корреляционный анализ без деления на кластеры показал наличие положительной связи между долей мужчин в составе населения и смертностью от БСК ($r = 0,358$, $p =$

Таблица 3

Сравнение кластеров по заболеваемости и смертности от отдельных причин

Первый кластер (n=5)	Второй кластер (n =10)	Третий кластер (n =20)	p
Заболеваемость на 1 000 населения			
1270 (1221; 1320)	1076 (934; 1267)	985 (814; 1174)	0,033
Класс I Некоторые инфекционные и паразитарные болезни (A00–A99, B00–B99)*			
5 (5; 5)	16 (8; 18)	22 (16; 24)	0,088
Класс II Новообразования (коды C00–C97, D00–D89)*			
199 (170; 229)	84 (70; 148)	140 (111; 168)	0,002
Доля смертности от новообразований, %			
14 (13,8; 16)	12 (10; 19)	15 (12; 17)	0,848
Класс IX Болезни системы кровообращения (I100–199)*			
600 (543; 726)	296 (286; 351)	423 (331; 491)	<0,001
Доля смертности от болезней системы кровообращения, %			
46 (43; 52)	42 (38; 48)	41 (36; 48)	0,351
ИБС*			
173 (106; 274)	150 (99; 176)	156 (123; 217)	0,513
Цереброваскулярные болезни*			
125 (103; 175)	67 (45; 74)	65 (57; 81)	0,006
Класс X Болезни органов дыхания (Коды J00–J93)*			
27 (20; 31)	28 (14; 38)	27 (19; 37)	0,960
Класс XI Болезни органов пищеварения (Коды K00–K93)			
97 (26; 130)	30 (22; 55)	31 (24; 56)	0,260
Класс XX Травмы, отравления и некоторые другие последствия внешних факторов (Коды V01–Y98)*			
194 (191; 293)	152 (108; 208)	150 (137; 229)	0,117
Доля смертности от травм, отравлений и некоторых других последствий внешних факторов, %			
16 (14; 22)	20 (16; 28)	16 (13; 23)	0,326
Случайные отравления алкоголем*			
0 (0; 24)	0 (0; 9)	6 (0; 14)	0,591
Все виды транспортных травм*			
14 (0; 36)	8 (6; 21)	12 (3; 22)	0,979
Самоубийства*			
47 (21; 120)	33 (16; 37)	36 (24; 53)	0,296
Убийства*			
40 (20; 65)	22 (14; 38)	27 (0; 46)	0,341
От причин смерти, обусловленных алкоголем*			
123 (64; 152)	19,3 (10; 36)	45 (25; 67)	0,003
Младенческая смертность на 1 000 родившихся живыми			
9,8 (4; 13)	6,7 (0; 9,5)	6,7 (0; 12)	0,623

Примечания: данные представлены в формате Me (Q_1 ; Q_3); p – достигнутый уровень статистической значимости различий при сравнении групп с использованием критерия Краскела – Уоллиса; * – смертность на 100 000 человек населения; курсивом выделены отдельные причины, которые входят в смертность от внешних причин.

0,035), болезней желудочно-кишечного тракта ($r = 0,396$, $p = 0,025$). Сравнение кластеров по доле мужского населения не выявило различий в половой структуре (табл. 4).

Для изучения связи между этнической принадлежностью и смертностью из данных Всероссийской переписи населения (ВПН) 2010 г. были выделены три группы населения – якуты, русские и коренные малочисленные народы Севера (эвены и эвенки) [3]. При корреляционном анализе удельный вес коренных малочисленных народов Севера среди населения муниципальных об-

Таблица 4

Сравнение кластеров по отдельным социально-экономическим параметрам

Первый кластер (n=5)	Второй кластер (n=10)	Третий кластер (n=20)	p
Выбросы загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников, т			
2262 (1442; 10941)	1773 (702; 6717)	2106 (1113; 4921)	0,769
Размер платы за негативное воздействие на окружающую среду за 2013–2016 гг., тыс. руб.			
6308,5 (4090,5; 9136,4)	7591,8 (6656,3; 14941,6)	6312,3 (3517,5; 32508,8)	0,504
Доля сельского населения, %			
46 (21; 52)	100 (5; 100)	62 (42; 100)	0,297
Доля КМНС в этнической структуре населения*, %			
9 (6; 25)	2 (1; 7)	6 (1; 24)	0,257
Доля якутов в этнической структуре населения*, %			
43 (25; 80)	70 (18; 97)	53 (25; 90)	0,825
Доля русских в этнической структуре населения*, %			
27 (6; 46)	2 (0,4; 48)	14 (4; 43)	0,693
Число лиц с послевузовским, высшим, неполным высшим образованием на 1 000 человек в возрасте 15 лет и более*			
175 (139; 196)	227 (208; 263)	182 (167; 203)	0,007
Мощность амбулаторно-поликлинических организаций на 10 000 населения			
520 (427; 663)	290 (228; 415)	296 (254; 446)	0,032
Число врачей на 10 000 населения			
41 (37; 46)	39 (33; 51)	37 (32; 43)	0,460
Численность среднего медицинского персонала на 10 000 населения			
133 (127; 157)	115 (103; 130)	111 (103; 127)	0,076
Число больничных коек на 10 000 человек			
108 (103; 125)	78 (67; 91)	84 (73; 92)	0,008
Доля мужского населения, %			
50 (48; 52)	49 (48; 49)	49 (48; 50)	0,242
Доля населения моложе трудоспособного возраста, %			
26 (21; 28)	30 (22; 31)	29 (24; 31)	0,216
Доля населения старше трудоспособного возраста, %			
19 (17; 20)	16 (14; 18)	16 (15; 18)	0,160
Общая площадь жилых помещений на 1 жителя м ²			
24 (23; 25)	23 (21; 24)	24 (21; 26)	0,427
Удельный вес жилых помещений, оборудованных отоплением, %			
82 (71; 86)	93 (60; 99)	70 (51; 86)	0,314
Среднемесячная заработная плата, руб.			
51301 (46690; 60630)	48 221 (37 645; 62 985)	44 374 (39 543; 55 509)	0,521
Уровень зарегистрированной безработицы, %			
5 (2; 7)	5 (2; 7)	4 (3; 6)	0,949
Число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. человек населения			
1264 (780; 1424)	1 050 (919; 1301)	1 053 (941; 1358)	0,875
Розничная реализация алкогольных напитков на душу населения, л			
3 (2; 7)	4 (2; 7)	4 (3; 5)	0,932

Примечания: данные представлены в формате Ме (Q₁; Q₃); p – достигнутый уровень статистической значимости различий при сравнении групп с использованием критерия Краскела – Уоллиса; * – по данным Всероссийской переписи населения 2010 г.; КМНС – коренные малочисленные народы Севера.

разований прямо коррелировал со смертностью от внешних причин ($r = 0,376$, $p = 0,026$) и причин, обусловленных алкоголем ($r = 0,362$, $p = 0,033$). Доля русского населения коррелировала со смертностью от БСК ($r = 0,459$, $p = 0,006$) и цереброваскулярных заболеваний ($r = 0,361$, $p = 0,033$). Несмотря на то, что при сравнении кластеров не установлено статистически значимых различий в национальном составе кластеров, данные табл. 4 свидетельствуют о том, что в 1-м кластере больше доля коренных малочисленных народов Севера и русских, 2-й кластер в основном представлен якутским населением.

Для оценки связи между показателями смертности и уровнем образования также были использованы итоги ВПН 2010 г. [3]. Согласно методологии переписи при оценке статуса образования учитывался высший из достигнутых опрашиваемым уровень образования. Для анализа проведено объединение трех градаций (высшее, неполное высшее, послевузовское образование). С учетом того, что уровень образования зависит от возраста, проведен частный корреляционный анализ (в качестве контролирующей переменной – доля лиц старше 15 лет). Результаты анализа показали наличие отрицательной корреляционной связи между числом лиц с высоким образовательным уровнем (на 1 000 населения старше 15 лет) и общей смертностью за 2016 г. ($r = -0,544$, $p = 0,001$), смертностью от БСК ($r = -0,755$, $p < 0,001$), внешних причин ($r = -0,465$, $p = 0,045$), транспортных травм ($r = -0,480$, $p = 0,038$), от причин, обусловленных алкоголем ($r = -0,518$, $p = 0,023$). Для проверки устойчивости связи был проведен аналогичный анализ с показателями общей смертности за 2010 г., который показал сохранение статистически значимых отрицательных коэффициентов корреляции ($r = -0,631$, $p < 0,001$).

При сравнении кластеров в самом неблагополучном из них число лиц с высоким образовательным статусом было статистически значимо ниже, чем в двух остальных. Наиболее благополучный по смертности кластер характеризовался большей долей лиц с высоким уровнем образования.

Из экологических факторов, в связи с отсутствием у авторов других данных в разрезе муниципальных образований, в анализ были включены два показателя (выбросы загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников и размер платы за негативное воздействие на окружающую среду за 2013–2016 гг.) [8, 15]. Второй показатель использовался в качестве косвенной меры наличия и количественной оценки воздействия. Корреляционный анализ не показал наличия связи между смертностью и загрязнением атмосферы ($r = -0,210$, $p = 0,453$). Выявленная положительная корреляция между размером платы за негативное воздействие на окружающую среду и смертностью от ИБС ($r = 0,388$, $p = 0,021$) была опосредована большей долей русского населения в промышленности и при частной корреляции связь была статистически незначимой ($r = -0,127$, $p = 0,652$). Сравнение кластеров по уровню экологических факторов также не показало значимых различий.

При оценке связи показателей смертности с некоторыми социально-экономическими факторами (общая площадь жилых помещений на одного жителя, м², удельный вес жилых помещений, оборудованных отоплением, среднемесячная заработная плата, уровень зарегистрированной безработицы, число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. человек населения, розничная реализация алкогольных напитков на душу населения) не установлено статистически значимых взаимосвязей. Анализ ресурсного обеспечения системы здравоохранения также не показал неблагоприятного влияния на показатели смертности. Высокие цифры показателей в 1-м кластере обусловлены низкой плотностью населения на этих территориях.

Обсуждение результатов

Таким образом, проведенный анализ показал, что в Республике Саха (Якутия) за период 2007–2016 гг. наблюдается некоторое снижение показателей смертности (средний темп убыли 2 %). Сравнение 35 муниципальных образований показало наличие значительных территориальных различий в уровнях смертности, которые сохраняются при устранении разницы в возрастной структуре населения. Установлено наличие корреляционных взаимосвязей между национальным составом территорий и смертностью от отдельных причин. При разделении муниципальных образований по уровню смертности установлено, что кластер с высоким уровнем смертности отличался от других по смертности от новообразований, БСК и причин смерти, обусловленных алкоголем. При этом не выявлено статистически значимых различий между кластерами в половой структуре, уровнях отдельных экологических и социально-экономических показателей. Анализ ресурсов здравоохранения показал достаточную мощность амбулаторно-поликлинических организаций, обеспеченность кадрами и койками. Наиболее значимым из рассмотренных факторов, связанных со смертностью, был уровень образования.

Различия в показателях смертности между отдельными группами населения наблюдаются повсеместно. Несмотря на многолетнюю историю их изучения, нет однозначного мнения о причинах этой дифференциации [19, 22, 24, 26, 29]. В исследованиях была показана связь между здоровьем, смертностью и такими характеристиками населения, как этническая принадлежность, половозрастные особенности, уровень образования, характер труда, социальное положение, экономический статус, экологические и климатогеографические условия среды обитания, район проживания и другие [7, 9, 10, 13, 17, 18, 20]. При анализе территориальных различий смертности в субъектах Российской Федерации показатели смертности зависели от возрастной структуры, уровня образования, социально-экономического развития и ресурсов системы здравоохранения регионов [5, 6, 11, 12]. В контексте результатов проведенного исследования представляет интерес влияние уровня образования на показатели смертности. Образование рассматривается как одна из главных детерминант экономического неравенства [13, 23, 27, 30]. Этот

фактор, вероятно, опосредует связь между социально-экономическими факторами и смертностью. Уровень образования связан с социальным статусом, уровнем дохода, доступом к высококвалифицированной медицинской помощи, информированностью по проблемам здоровья, поведенческими стереотипами, стилем и образом жизни, другими факторами, связанными с качеством и состоянием здоровья [28]. По данным исследований, каждый добавленный год обучения ассоциируется с сокращением коэффициентов смертности [10]. Уровень образования влияет также на различия в смертности, обусловленной курением и употреблением алкоголя [16, 25, 28]. Кроме того, неблагополучные в социальном плане группы более уязвимы и в отношении экологических факторов [17, 19].

В Республике Саха (Якутия) стандартизованные по европейскому стандарту возрастной структуры показатели общей смертности в 2015 г. сопоставимы с показателями Российской Федерации в целом (1 522 и 1 478 соответственно среди мужчин; 783 и 740 соответственно среди женщин) и значительно ниже, чем в других субъектах Дальневосточного федерального округа. С учетом положительного естественного прироста это свидетельствует о наличии в республике резервов сохранения численности населения.

Выводы. Поиск причин различий в смертности населения может дать ключ к управлению демографической ситуацией в регионе. В дальнейших исследованиях необходимо включить больший спектр социально-экономических параметров, комплексный анализ здоровья населения и качества медицинской помощи по унифицированной методике, изучение социокультурных аспектов поведения отдельных групп населения в отношении здоровья. Одной из мер, направленных на сокращение смертности в регионе, наряду с повышением уровня и качества жизни населения, должно быть изменение поведения людей, формирование новых стратегий самосохранительного поведения, соответствующих современным реалиям.

Авторство

Климова Т. М. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, подготовила первый вариант статьи, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Кузьмина А. А. участвовала в анализе и интерпретации данных, переработала первый вариант статьи, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Малогулова И. Ш. внесла вклад в получение, анализ и интерпретацию данных, переработала первый вариант статьи, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Климова Татьяна Михайловна — ORCID 0000-0003-2746-0608; SPIN 2635-0865

Кузьмина Ариана Афанасьевна — ORCID 0000-0001-5220-0766; SPIN 7834-3840

Малогулова Ирина Шамильевна — ORCID 0000-0003-0687-7949; SPIN 6336-5374

Список литературы

1. Алленов А. М., Казанцев В. С. Математическое мо-

делирование в управлении здоровьем населения // Врачи и информационные технологии. 2011. № 6. С. 62–67.

2. База данных показателей муниципальных образований / Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst98/DBInet.cgi> (дата обращения 28.04.2018).

3. Всероссийская перепись населения 2010 URL: http://sakha.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/sakha/ru/census_and_researching/census/national_census_2010/score_2010/ (дата обращения 28.04.2018).

4. Голубева А. А., Шибалков И. П. Анализ структуры смертности и социально-экономических факторов смертности в некоторых регионах Сибирского федерального округа // Общество: политика, экономика, право. 2017. Т. 8. URL: http://dom-hors.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/rep/2017/8/economics/golubeva-shibalkov.pdf (дата обращения 28.04.2018).

5. Карпин В. А., Шувалова О. И., Гудков А. Б. Клиническое течение артериальной гипертензии в экологических условиях урбанизированного Севера // Экология человека. 2011. № 10. С. 48–52.

6. Карякин Н. Н., Донченко Е. В., Мухин П. В. Количественная оценка зависимости некоторых показателей смертности и заболеваемости от ресурсов здравоохранения // Медицинский альманах. 2014. Т. 33, № 3. С. 16–20.

7. Кострюкова Н. К., Карпин В. А., Гудков А. Б. Смертность населения, проживающего в местах локальных разломов земной коры // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2005. № 4. С. 17–19.

8. Министерство охраны природы Республики Саха (Якутия): Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2016. URL: [https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads/ckfinder/userfiles/files/2254%20Якутск%20Природа%20Макет_07%2009%202017_окончат\(1\).pdf](https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads/ckfinder/userfiles/files/2254%20Якутск%20Природа%20Макет_07%2009%202017_окончат(1).pdf) (дата обращения 28.04.2018).

9. Мироновская А. В., Бузинов Р. В., Гудков А. Б. Прогнозная оценка неотложной сердечно-сосудистой патологии у населения северной урбанизированной территории // Здравоохранение Российской Федерации. 2011. № 5. С. 66–67.

10. Неравенство и смертность в России: кол. монография / под ред. Школьников В., Андреева Е., Малевой Т. М.: СигналЪ, 2000. 107 с.

11. Никанов А. Н., Чащин В. П., Гудков А. Б., Дорофеев В. М., Стурлис Н. В., Карначев П. И. Медико-демографические показатели и формирование трудового потенциала в Арктике (на примере Мурманской области) // Экология человека. 2018. № 1. С. 15–19.

12. Пьянкова А. И., Фаттахов Т. А. Смертность по уровню образования в России // Экономический журнал ВШЭ. 2017. Т. 21, № 4. С. 623–647.

13. Различия смертности взрослого населения России по уровню образования / А. Е. Иванова, Е. В. Землянова, А. Ю. Михайлов, С. Е. Головенкин // Здравоохранение Российской Федерации. 2014. № 2. С. 4–8.

14. Смертность населения Республики Саха (Якутия) в 2016 году / Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия). 2017. 215 с.

15. Статистический ежегодник Республики Саха (Якутия), 2017. URL: http://sakha.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/sakha/ru/publications/official_publications/electronic_versions/4272910047c730b98fa9afed3bc4492f (дата обращения 28.04.2018).

16. Чащин В. П., Ковшов А. А., Гудков А. Б., Моргунов Б. А. Социально-экономические и поведенческие факторы риска нарушений здоровья среди коренного населения Крайнего Севера // Экология человека. 2016. № 6. С. 3–8.

17. Braubach M., Fairburn J. Social inequities in environmental risks associated with housing and residential location - A review of evidence // Eur. J. Public Health. 2010. Vol. 20, N 1. P. 36–42.

18. Brønnum-Hansen H. Socially disparate trends in lifespan variation: A trend study on income and mortality based on nationwide Danish register data // BMJ Open. 2017. Vol. 7, N 5. P. 1–8.

19. Determinants of the magnitude of socioeconomic inequalities in mortality: A study of 17 European countries / J.P. Mackenbach, M. Bopp, P. Deboosere et al. // Health Place. 2017. Vol. 47. P. 44–53.

20. Eight Americas: Investigating mortality disparities across races, counties, and race-counties in the United States / C. J. L. Murray, S. C. Kulkarni, C. Michaud et al. // PLoS Med. 2006. Vol. 3, N 9. P. 1513–1524.

21. Environmental Health Inequalities in Europe // WHO Rep. 2012. P. 212.

22. Hu Y., van Lenthe F.J., Mackenbach J.P. Income inequality, life expectancy and cause-specific mortality in 43 European countries, 1987-2008: a fixed effects study // Eur. J. Epidemiol. Springer Netherlands, 2015. Vol. 30, N 8. P. 615–625. 8

23. Hummer R.A., Hernandez E.M. The Effect of Educational Attainment on Adult Mortality in the United States // Popul. Bull. 2013. Vol. 68, N 1. P. 1–16.

24. Is income inequality a determinant of population health? Part 1. A systematic review / J. Lynch, G. D. Smith, S. Harper et al. // Milbank Q. 2004. Vol. 82, N 1. P. 5–99.

25. Koch M. B., Diderichsen F., Grønbaek M., Juell K. What is the association of smoking and alcohol use with the increase in social inequality in mortality in Denmark? A nationwide register-based study // BMJ Open. 2015. Vol. 5, N 5. P. 1–9.

26. Kondo N. Socioeconomic Disparities and Health: Impacts and Pathways // J. Epidemiol. 2012. Vol. 22, N 1. P. 2–6.

27. Nordahl H., Lange T., Osler M. Education and cause-specific mortality: the mediating role of differential exposure and vulnerability to behavioral risk factors // Epidemiology. 2014. Vol. 25, N 3. P. 389–396.

28. Östergren O., Martikainen P., Lundberg O. The contribution of alcohol consumption and smoking to educational inequalities in life expectancy among Swedish men and women during 1991–2008 // Int. J. Public Health. 2018. Vol. 63, N 1. P. 41–48.

29. The Association Between Income and Life Expectancy in the United States, 2001-2014 / R.Chetty, M. Stepner, S. Abraham et al. // JAMA. 2016. Vol. 315, N 16. P. 1750–1766.

30. Variations in the relation between education and cause-specific mortality in 19 European populations: A test of the “fundamental causes” theory of social inequalities in health / J. P. Mackenbach, Kulhánová I., Bopp M. et al. // Soc. Sci. Med. 2015. Vol. 127. P. 51–62.

References

1. Allenov A. M., Kazantsev V. S. Mathematical modeling in public health management. *Vrach i informatsionnye tekhnologii* [Information technologies for the Physician]. 2011, 6, pp. 62-67. [In Russian]

2. *Regional office of the federal service of state statistics in Republic of Sakha (Yakutia). Database of indicators of municipalities.* Available at: <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst98/DBInet.cgi> (accessed 28.04.2018). [In Russian]
3. *Regional office of the federal service of state statistics in Republic of Sakha (Yakutia). Russian Census: 2010.* Available at: http://sakha.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/sakha/ru/census_and_researching/census/national_census_2010/score_2010/ (accessed 28.04.2018). [In Russian]
4. Golubeva A. A., Shibalkov I. P. The analysis of the structure of mortality and its social and economic factors in several regions of the Siberian federal district. *Obshchestvo: politika, ekonomika, pravo* [Society: politics, economics, law]. 2017, 8. Available at: http://dom-hors.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/pep/2017/8/economics/golubeva-shibalkov.pdf (accessed 28.04.2018). [In Russian]
5. Karpin V. A., Shuvalova O. I., Gudkov A. B. Essential hypertension course in ecological conditions of urban North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 10, pp. 48-52. [In Russian]
6. Karyakin N. N., Donchenko E. V., Muxin P. V. Quantitative assessment of dependence of several mortality and morbidity rates from healthcare sources. *Meditinskii almanax* [Medical Almanac]. 2014, 33 (3), pp. 16-20. [In Russian]
7. Kostryukova N. K., Karpin V. A., Gudkov A. B. Mortality of population living in areas of local Earth's crust ruptures. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny* [Problemy sotsialnoi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny]. 2005, 4, pp. 17-19. [In Russian]
8. *Ministry of Nature Protection of the Republic of Sakha (Yakutia). State of environment report in Republic of Sakha (Yakutia): 2016.* Available at: [https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads/ckfinder/userfiles/files/2254%20Yakutsk%20Priroda%20Maket_07%2009%202017_okonchat\(1\).pdf](https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads/ckfinder/userfiles/files/2254%20Yakutsk%20Priroda%20Maket_07%2009%202017_okonchat(1).pdf) (accessed 28.04.2018). [In Russian]
9. Mironovskaya A. V., Buzinov R. V., Gudkov A. B. Prognostic evaluation of urgent cardiovascular disease in the population of a northern urbanized area. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Public Health of the Russian Federation]. 2011, 5, pp. 66-67. [In Russian]
10. *Neravenstvo i smertnost v Rossii* [Inequality and mortality in Russia]. Moscow, Signal Publ., 2000, 107 p.
11. Nikanov A. N., Chashchin V. P., Gudkov A. B., Dorofeev V. M., Sturlis N. V., Karnachev P. I. Medico-demographic indicators and formation of labor potential in the Russian Arctic (in the context of Murmansk region). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 1, pp. 15-19 [In Russian]
12. Pyankova A. I., Fattaxov T. A. Mortality by Educational Level in Russia. *Ekonomicheskii zhurnal VShE* [HSE Economic Journal]. 2017, 21 (4), pp. 623-647. [In Russian]
13. Ivanova A. E., Zemlyanova E. V., Mixajlov A. Yu., Golovenkin S. E. The differences in mortality of adult population of Russia according level of education. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Health Care of the Russian Federation]. 2014, 2, pp. 4-8. [In Russian]
14. *Regional office of the federal service of state statistics in Republic of Sakha (Yakutia). Mortality of population of Republic of Sakha (Yakutia): 2016 (Data Book), Yakutsk, 2017, 215 p.* [In Russian]
15. *Regional office of the federal service of state statistics in Republic of Sakha (Yakutia). Statistical Yearbook 2017.* Available at: http://sakha.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/sakha/ru/publications/official_publications/electronic_versions/4272910047c730b98fa9afed3bc4492f (accessed 28.04.2018). [In Russian]
16. Chashchin V. P., Kovshov A. A., Gudkov A. B., Morgunov B. A. Socioeconomic and behavioral risk factors of disabilities among the indigenous population in the far north. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 6, pp. 3-8. [In Russian]
17. Braubach M., Fairburn J. Social inequities in environmental risks associated with housing and residential location - A review of evidence. *Eur. J. Public Health.* 2010, 20 (1), pp. 36-42.
18. Brønnum-Hansen H. Socially disparate trends in lifespan variation: A trend study on income and mortality based on nationwide Danish register data. *BMJ Open.* 2017, 7 (5), pp. 1-8.
19. Mackenbach J. P., Bopp M., Deboosere P. et al. Determinants of the magnitude of socioeconomic inequalities in mortality: A study of 17 European countries. *Health Place.* 2017, 47, pp. 44-53.
20. Murray C. J. L., Kulkarni S. C., Michaud C. et al. Eight Americas: Investigating mortality disparities across races, counties, and race-counties in the United States. *PLoS Med.* 2006, 3 (9), pp. 1513-1524.
21. WHO Rep. *Environmental Health Inequalities in Europe.* 2012, 212 p.
22. Hu Y., van Lenthe F. J., Mackenbach J. P. Income inequality, life expectancy and cause-specific mortality in 43 European countries, 1987-2008: a fixed effects study. *Eur. J. Epidemiol.* Springer Netherlands, 2015, 30 (8), pp. 615-625.
23. Hummer R. A., Hernandez E. M. The Effect of Educational Attainment on Adult Mortality in the United States. *Popul. Bull.* 2013, 68 (1), pp. 1-16.
24. Lynch J., Smith G. D., Harper S. et al. Is income inequality a determinant of population health? Part 1. *A systematic review. Milbank Q.* 2004, 82 (1), pp. 5-99.
25. Koch M. B., Diderichsen F., Grønbaek M., Juel K. What is the association of smoking and alcohol use with the increase in social inequality in mortality in Denmark? A nationwide register-based study. *BMJ Open.* 2015, 5 (5), pp. 1-9.
26. Kondo N. Socioeconomic Disparities and Health: Impacts and Pathways. *J. Epidemiol.* 2012, 22 (1), pp. 2-6.
27. Nordahl H., Lange T., Osler Nordahl M. Education and cause-specific mortality: the mediating role of differential exposure and vulnerability to behavioral risk factors. *Epidemiology.* 2014, 25 (3), pp. 389-396.
28. Östergren O., Martikainen P., Lundberg O. The contribution of alcohol consumption and smoking to educational inequalities in life expectancy among Swedish men and women during 1991-2008. *Int. J. Public Health.* 2018, 63 (1), pp. 41-48.
29. The Association Between Income and Life Expectancy in the United States, 2001-2014. Chetty R., Stepner M., Abraham S. et al. *JAMA.* 2016, 315 (16), pp. 1750-1766.
30. Variations in the relation between education and cause-specific mortality in 19 European populations: A test of the "fundamental causes" theory of social inequalities in health. Mackenbach J. P., Kulhánová I., Bopp M. et al. *Soc. Sci. Med.* 2015, 127, pp. 51-62.

Контактная информация:

Климова Татьяна Михайловна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры фармакологии и фармации медицинского института ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова»
 Адрес: 677016, г. Якутск, ул. Ойунского, д. 27
 E-mail: biomeddykt@mail.ru

УДК 616-008:546.4

DOI: 10.33396/1728-0869-2019-4-39-47

МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СВЯЗИ РАССТРОЙСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЧЕЛОВЕКА С СОДЕРЖАНИЕМ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ БАРИЯ И СТРОНЦИЯ В ОРГАНИЗМЕ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

© 2019 г. ^{1,2}В. П. Чашин, ³О. М. Иванова, ⁴М. А. Иванова

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, г. Санкт-Петербург; ²ФГАОУ ВО НИУ «Высшая школа экономики», г. Москва; ³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» Правительства Российской Федерации, г. Санкт-Петербург; ⁴ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург

Выполнен систематический анализ опубликованных результатов исследований, посвящённых влиянию микроэлементов бария (Ba) и стронция (Sr) на функциональные системы организма человека. При достаточном поступлении в организм стабильных изотопов Sr наблюдается снижение пульсового артериального давления утром, ассоциирующееся с уменьшением смертности среди больных, страдающих ишемической болезнью сердца и артериальной гипертензией. Имеется статистически значимая линейная связь между соотношением содержания Ba и Sr в волосах и циркадным индексом частоты сердечных сокращений, который может сопровождаться увеличением частоты тромбозов, в частности при лечении рanelатом Sr в терапевтических дозах. Выявлена статистически значимая отрицательная корреляция между содержанием Ba и увеличением возраста пациентов, совпадающая с повышением риска возникновения прогрессирующих дегенеративных расстройств головного мозга, а также хронической обструктивной болезни лёгких. Обсуждается также возможная связь содержания Sr и Ba в организме с риском возникновения болезни Кашина-Бека. Для ранней диагностики этой болезни в эндемических очагах и в регионах спорадических случаев этого заболевания целесообразно проводить оценку функции активного сгибания дистальных суставов II–IV пальцев кистей рук у лиц из групп риска в пределах допустимых доз радиации в возрасте от 4 до 26 лет с лучевой диагностикой нарушений костной структуры.

Ключевые слова: барий, стронций, болезнь Альцгеймера, болезнь Кашина-Бека, ишемическая болезнь сердца, расстройства функциональных систем

MEDICAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF ASSOCIATIONS BETWEEN HUMAN EXPOSURE TO TRACE CONCENTRATIONS OF STABLE BARIUM AND STRONTIUM AND FUNCTIONAL DISORDERS OF THE BODY. A REVIEW

^{1,2}V. P. Chashchin, ³O. M. Ivanova, ⁴M. A. Ivanova

¹Northwest Public Health Research Center, Saint Petersburg, Russia; ²National Research University - Higher School of Economics, Moscow, Russia; ³Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia; ⁴I. I. Mechnikov North-West State Medical University, Saint-Petersburg, Russia

A systematic analysis of the published results of studies on the effect of trace elements such as barium (Ba) and strontium (Sr) on functional systems of the human body. With sufficient intake of stable Sr isotopes, a decrease in pulse arterial pressure is observed in the morning, associated with a decrease in mortality among patients with ischemic heart disease and arterial hypertension. There is a statistically significant linear relationship between the ratio of the Ba and Sr content in the hair and the circadian heart rate index, that is associated with an increase in the incidence of thrombosis, particularly during treatment with the Strontium ranelate at therapeutic doses. A statistically significant negative correlation was found between the Ba tissue concentrations and the increase in the patient's age that is also associated with an increase in the risk of progressive degenerative brain disorders, as well as chronic obstructive pulmonary disease. The possible association of Sr and Ba tissue concentrations in the body with the risk of Kashin-Beck disease is discussed. For early detection of this disease in the population residing endemic areas and the areas of its sporadic cases, it is advisable to evaluate the function of active flexion of the distal joints of II - IV fingers of the hands in people aged 4 to 26 years with imaging the bone structure of these fingers in the people at risk within acceptable doses of radiation.

Key words: barium, strontium, Alzheimer's disease, Kashin-Beck's disease, coronary heart disease, functional disorders of the system

Библиографическая ссылка:

Чашин В. П., Иванова О. М., Иванова М. А. Медико-экологические аспекты связи расстройств функциональных систем человека с содержанием микроэлементов бария и стронция в организме. Обзор литературы // Экология человека. 2019. № 4. С. 39–47.

Chashchin V. P., Ivanova O. M., Ivanova M. A. Medical and Ecological Aspects of Associations between Human Exposure to Trace Concentrations of Stable Barium and Strontium and Functional Disorders of the Body. A Review. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 39-47.

Дисбаланс, избыток или недостаток в организме отдельных микро- или макроэлементов или их соединений нередко сопровождают возникновение патологических состояний [1]. В настоящее время известна взаимосвязь

между элементным составом биологических субстратов и другими параметрами гомеостаза у практически здоровых людей и при типовых патологических процессах и расстройствах функциональных систем: хронической

ишемии головного мозга [4], ишемической болезни сердца (ИБС), гипертонической болезни, сердечной недостаточности, тиреоидных заболеваний, хроническом алкоголизме [13–15, 20], первичном остеопорозе [29]. Не только производственная среда промышленности и транспорта, но внедряемые в сельское хозяйство современные высокопродуктивные сорта культурных растений поддерживают штаммы грибов, у которых интенсивность токсинообразования на несколько порядков выше, чем у изолятов, выделенных с низкопродуктивных или диких сортов. Наибольшая токсичность наблюдается при контакте культурной растительности с дикорастущей, особенно на участках заброшенных и залежных земель [27]. Известно, что вне зон эндемических поражений скелета (в России – двух разных заболеваний: болезни Кашина-Бека – БКБ и стронциевого рахита – СР, болезни Кашина) в литературе отмечались только положительные эффекты стабильных изотопов природного стронция (Sr) в концентрациях менее предельно допустимых (ПДК) на сердечно-сосудистую систему взрослых: значимое снижение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в сочетании с артериальной гипертензией при повышении содержания Sr и в питьевой воде, и в моче [35]. Ятрогенные эффекты описывались позднее: после внедрения в клиническую практику ранелата Sr [49]. Стронций поступает в пищевые цепи из вымывающих его из целестиновых руд подземных вод, в том числе в Вельске и во многих других населённых пунктах Архангельской области, из фосфорных удобрений, из содержащих до 2 % Sr используемых при известковании почв карбоната кальция и при мелиорации засоленных почв фосфогипса, содержащего также до 1,5 % способного вызывать флюороз фтора [5, 7, 8, 24, 28]. Избыточное поступление Sr может приводить к развитию первичного остеоартроза (ПОА), который даёт множественные деформации суставов и чаще развивается в среднем и пожилом возрасте. У больных ПОА нет характерных для БКБ признаков. Эти признаки при 3-й степени БКБ – распространённые мышечные контрактуры и низкорослость за счёт X- или O-образных нижних конечностей, множественное поражение желез внутренней секреции. Короткопалость (брахидактилия), поражение суставов среднего размера, других, кроме II–IV пальцев кистей, – признаки БКБ 2-й и 3-й степени. У больных 2–3-й степени есть и признаки БКБ 1-й степени, например поражение трубчатых костей, и – часто уже на начальном этапе БКБ – наличие «ниш» на рентгенограмме кистей. БКБ на начальном этапе и часто при 1-й степени можно полностью излечить радоновыми ваннами с повышенным содержанием Sr. ПОА – болезнь, для которой не разработана столь эффективная терапия, как для БКБ начального этапа, особенно при сочетании ПОА с ИБС, когда, как и при БКБ, изменены кровеносные сосуды. Изучение теперь более редких, чем ПОА, но более выраженных подобных поражений, таких как БКБ, может обеспечить прорыв в лечении остеоартроза (ОА), остеопороза, перелома шейки

бедр, хондропатий, а также, возможно, сердечно-сосудистых заболеваний и деменций [11, 14, 31, 32]. Сейчас, в отличие от Тибета и Китая, новые случаи БКБ в российских эндемических очагах (ЭО) в восточном Забайкалье и Амурской области практически отсутствуют. Это не только благодаря выселению населения из ЭО. Возможно, имеет значение повышение в водах уровня кальция (Ca) при меньшем повышении уровня Sr, а также двукратное по сравнению с 70–80-ми годами прошлого века повышение содержания в почвах селена (Se), видимо, вследствие уменьшения выпаса скота [7, 8]. Однако изменения климата – повышение размаха колебаний температур в течение дня в сезон холодов, как и изменения в технологии производства хлебопродуктов, создают риски расширения ЭО БКБ и образования новых вплоть до возвращения болезни на значительную часть территории Российской Федерации, а также риск увеличения смертности от хронической обструктивной болезни лёгких (ХОБЛ), в том числе как стёртой формы БКБ. Борьба с БКБ стала триумфом европейской медицины, в авангарде которой были отечественные гигиенисты, экологи, педиатры и клиницисты, поскольку традиционная восточная медицина и народные целители были бессильны [11]. Но необходимо закрепить успехи и предотвратить распространение болезней в новых условиях, в том числе в производственной среде, колонизируемой организмами, которые выделяют токсины, инициирующие патогенез не являющейся ни микозом, ни микотоксикозом БКБ.

Известно, что барий (Ba) – синергист ацетилхолина (АХ) [1]. Содержание в волосах Ba имеет значимую отрицательную корреляцию с возрастом ($r = -0,34$, $p = 0,007$).

Связь содержания Ba в волосах с возрастом может отражать снижение с возрастом активности АХ – важнейшего нейромедиатора не только вегетативной нервной системы, включая автономную нервную систему сердца, но и головного мозга, что наряду со снижением активности и других нейротрансмиттерных систем может объяснять болезнь Альцгеймера как возрастную. Мы предполагали важную роль, как и при ишемических и геморрагических повреждениях головного мозга, которым тоже могут предшествовать нейродегенеративные изменения, нарушений обмена содержащих цинк белков теплового шока. Всё же в нейронах головного мозга больных снижено содержание холинацетилтрансферазы, катализирующей синтез АХ, что связано со снижением активности АХ с возрастом [1]. Это может отражаться снижением содержания Ba в волосах с возрастом. Помимо обсуждения синергичности Ba с АХ следует отметить, что Ba в низких концентрациях является важнейшим эссенциальным элементом позвоночных. Действительно, без участия этого микроэлемента невозможно корректное функционирование нервной деятельности, хотя высокие концентрации Ba способны блокировать калиевые каналы не только нейронов, но и вообще всех клеточных форм жизни [34]. Известно, что микотоксины (МТ), наряду с дефицитом Se, йода (I),

тироксин-связывающего глобулина или избыточного поступления в организм марганца (Mn) [9, 31], способны нарушать активность кислот-антиоксидантов, особенно фульвокислот [50], например феруловой [11]. Кроме того, при возникновении профессиональной патологии [30], а также при воздействии ионизирующей радиации, а возможно, и более широкого спектра излучений, избытка Sg [2] или конкурентной индукции синтеза меланина грибов [8] эти факторы также могут быть вовлечены в формирование патогенеза БКБ [1, 2, 7, 11, 30, 39, 41, 43, 44].

Полагаем, что выявленная нами значимая отрицательная корреляция между возрастом и содержанием Ва может объяснить связь с возрастом различных деменций, в том числе при коморбидной с ИБС цереброваскулярной болезни. При этом механизм воздействия на прогрессирование деменций при поступлении в нервные клетки других химических элементов также может опосредоваться снижением содержания Ва, или эти элементы накапливаются в нервных клетках вследствие нарушения обмена Ва. Барий точно так же необходим и нервным клеткам автономной нервной системы, и они некорректно могут реагировать на холодовой стресс и при повышенных, и при сниженных уровнях Ва, а некорректная реакция может инициировать БКБ. Действительно, в ряде случаев в почвах и в растениях ЭО БКБ может быть высокое содержание Ва [8]. Избыток Ва может проявляться повышенной активизацией рецепторов АХ, способной вызвать усиленный аутоиммунный ответ, как при миастении. Миастения — патогенетически неоднородное заболевание с вовлечением и белковых структур мышцы, и холинорецепторов и ионных каналов аксона, сообщается о повышенной частоте её в тех местах, где в древности наблюдалась эпидемия БКБ [21]. Несмотря на хотя бы транзиторно повышенные уровни тиреотропного гормона (ТТГ) при селенодефиците в организме человека, при БКБ человека развёрнутой клинической картины миастении нет. Это можно объяснить тем, что, несмотря на снижение чувствительности рецепторов ТТГ в вилочковой железе при повышенном уровне ТТГ, у человека без тиреоидных заболеваний ввиду отсутствия инверсной связи между содержанием тироксина и трийодтиронина [19] обычно предшествующих миастении явлений гипертиреоза (то есть при низком уровне ТТГ) при БКБ человека нет, а синдром увеличенной вилочковой железы есть только при урской болезни птиц [6]. При БКБ человека наблюдаются только локальные миастенические синдромы в отдельных мышцах с распространённой миопатией только при третьей степени заболевания, но аналогия с миастенией могла бы объяснить избирательное поражение только пальцев кистей рук на начальном этапе БКБ человека. И деменции, включая болезнь Альцгеймера, и БКБ связаны не только с изменением содержания Ва, но и с дефицитом Se. При отсутствии адекватных профилактических мероприятий, видимо, во многом объясняемое замещением голарктических лесостепей тундрой и лесотундрой, а

также прекращением подсечно-огневого земледелия современное отступление по сравнению с древностью БКБ, ХОБЛ, ранних деменций может стать хотя бы отчасти временным. Например, БКБ появилась на территории Узбекистана, где в древности её не было [3, 22]. Новыми причинами дефицита Se в организме человека могут быть широкое использование нитратных удобрений, резко снижающих способность растений усваивать из почвы Se, кислотные дожди техногенного происхождения, сжигание опавшей листвы деревьев и кустарников, прошлогодних трав, слишком частые лесные пожары. Очистка зёрен злаков от оболочек, снижая содержание микромицетов и микроспорических грибов рода *Fusarium*, одновременно может способствовать поражению зерна другими микромицетами, в том числе тоже способными вызывать БКБ, уменьшает содержание в зерне витаминов, Se, ряда других эссенциальных микроэлементов. Усвоение Se из диеты снижают также повышение доли в ней термически обработанной пищи и особенно избыточное потребление рафинированного сахара, заболевания желчевыводящих путей, печени, желудочно-кишечного тракта, выявляемый у 90 % населения России гиповитаминоз С. Известно, что витамин С способствует высвобождению в кишечнике Se из его соединений и всасыванию его в кровь [3]. Но профилактическое назначение Se здоровым мальчикам и мужчинам без учёта пока ещё недостаточно изученного полового диморфизма его обмена может увеличивать частоту метаболических заболеваний и ХОБЛ при их старении [46].

По нашим данным, индекс удлинения скорректированного интервала QT (значение в процентах времени, когда скорректированный интервала QT увеличен, по отношению к длительности времени исследования при суточном мониторинге ЭКГ [10]) имел значимую положительную корреляцию с содержанием Sg в волосах ($r = 0,44$, $p = 0,005$). Анализ длительности интервала QT при повышении в волосах уровня Sg показал, что даже при максимальных значениях содержания Sg в волосах у больных не зарегистрированы нарушения ритма, и это не противоречит литературным данным [49]. Антибиотики тетрациклинового ряда, фторхинолоны и другие повышающие интервал QT препараты могут синергетически действовать друг с другом и ранелатом Sg или поступлением Sg из окружающей среды и вызывать при комбинированном воздействии нежелательное повышение QT. В нашем исследовании Ва/Sg в волосах имело значимые отрицательные корреляции с циркадным индексом (ЦИ) САД ($r = -0,34$, $p = 0,035$), с утренним подъёмом ДАД ($r = -0,34$, $p = 0,007$), скоростью утреннего подъёма ДАД ($r = -0,31$, $p = 0,004$) и значимую положительную корреляцию с ЦИ ЧСС ($r = 0,29$, $p = 0,004$). Поэтому безопасность доз ранелата Sg, назначаемых для лечения заболеваний костной ткани, целесообразно оценивать не только по отсутствию чрезмерного повышения скорректированного интервала QT, но и по отсутствию чрезмерного повышения ЦИ ЧСС и скорости утреннего подъёма артериального давления,

часто связанной с нею ишемией миокарда в ночное время. Снижение ЦИ ЧСС при повышении содержания Sg делает организм излишне подверженным компенсаторным влияниям симпатoadренальной системы, в том числе повышению вязкости крови, особенно при стрессе [18]. В связи с этим ранелат Sg, несмотря на минимальное самостоятельное воздействие на удлинение интервала QT из-за возможности снижения ЦИ ЧСС, противопоказан больным с повышенной склонностью к тромбозам и тромбоэмболиям, включая не только больных с риском венозного тромбоза, но и больных ИБС, периферическим атеросклерозом, цереброваскулярной болезнью, неконтролируемой артериальной гипертензией и т. д.

Приобретённый синдром удлинённого интервала QT, увеличивающегося, например, при сердечной недостаточности, как и врождённый, патологически наиболее часто проявляется именно на высоте эмоционального стресса [16]. В нашем исследовании мы можем предсказать опасность, связанную со снижением ЦИ ЧСС при повышении потребления Sg.

Связь Ba/Sg в волосах с ЦИ ЧСС может отражать высокую частоту сочетания БКБ с соматоформной дисфункцией вегетативной нервной системы сердца и сосудов независимо от наличия или отсутствия энцефалопатии у страдающих БКБ. Больным соматоформной дисфункцией вегетативной нервной системы сердца и сосудов следует проводить дифференциальный диагноз с БКБ, особенно если они ранее жили в её эндемических очагах, при спорадических случаях БКБ ставить диагноз сочетания этих двух заболеваний. Снижение вариабельности САД при повышении содержания Sg также может отражать изменение регуляции АД автономной нервной системой сердца при повышении в организме содержания Sg. Возможно, что накопление Sg в волосах отражает также его избыточное накопление в костной ткани, что приводит к снижению Sg в автономной нервной системе сердца и особенностям её работы вследствие этого.

По нашим данным, ЦИ САД имел значимую отрицательную корреляцию с величиной, обратной содержанию Sg в волосах ($r = -0,54$, $p = 0,008$). Эта же величина имела значимые отрицательные корреляции с ЦИ ДАД ($r = -0,31$, $p = 0,007$), с утренним подъёмом ДАД ($r = -0,44$, $p = 0,008$), максимальной ЧСС ночью ($r = -0,22$, $p = 0,008$), со скоростью утреннего подъёма ДАД ($r = -0,33$, $p = 0,004$). Скорость утреннего подъёма ДАД имела также значимые положительные корреляции с содержанием в волосах Sg ($r = 0,28$, $p = 0,007$), с величиной утреннего подъёма ДАД ($r = 0,77$, $p = 0,006$), со скоростью утреннего подъёма САД ($r = 0,32$, $p = 0,005$), с величиной утреннего подъёма САД ($r = 0,36$, $p = 0,004$), значимые отрицательные корреляции с минимальной ЧСС ночью ($r = -0,29$, $p = 0,002$) и днём ($r = -0,27$, $p = 0,041$). Отношение Sg и Ba имело значимые инверсные корреляции с минимальным САД при суточном мониторинге ($r = -0,38$, $p = 0,003$), с ДАД ($r = -0,33$, $p = 0,046$) и средним давлением при минимальном САД ($r = -0,33$,

$p = 0,041$), с уровнем Ba ($r = -0,26$, $p = 0,003$) и, естественно, значимую положительную корреляцию с содержанием в волосах Sg ($r = 0,23$, $p = 0,001$).

Существует теория о накоплении в суставах Sg при самых разных заболеваниях [6, 12]. Стронций в физиологических дозах может положительно влиять на процессы костеобразования: усиливает костеобразование и снижает костную резорбцию [26, 29]. Это повышает минеральную плотность и прочность костной ткани, что, впрочем, как раз характерно для ПОА, но при этом из-за повышенной хрупкости при ПОА также высока вероятность переломов, а в местах кости, прилегающих к поражённому суставу, остеопороз развивается и при ПОА [9, 25]. Кроме того, по нашему мнению, накопление Sg в организме может быть реакцией саногенеза организма на различные заболевания костной ткани [17]. Это подтверждается успешным использованием ранелата Sg для терапии остеопороза и у людей [49], и в эксперименте на крысах [47].

Так как вес больных имеет значимую инверсную корреляцию с ЦИ ДАД и значимую прямую корреляцию со средним артериальным давлением, то контроль за оптимальностью массы тела больных ИБС может снижать среднее артериальное давление, циркадную изменчивость ДАД и колебания пульсового давления, что снижает также риски сердечно-сосудистых событий. Значимая инверсная корреляционная связь $1/Sg$ и утреннего подъёма ДАД свидетельствует о нелинейной положительной связи содержания Sg в волосах с утренним подъёмом ДАД. Повышение уровня Sg в волосах, отражая повышение ДАД утром, также снижает утренний подъём пульсового артериального давления, равного разности между САД и ДАД, что может благоприятно сказываться на выживаемости сердечно-сосудистых больных с артериальной гипертензией, особенно в пожилом возрасте, для которого характерна изолированная систолическая гипертензия. Но если при этом Ba/Sg отклоняется от оптимальных значений, то возможно повышение или снижение ЦИ ЧСС до значений вне пределов нормы, что может отражать повышенный риск тромботических событий.

Эффективность при прогнозе заболеваемости БКБ в ЭО гидрогеохимического Ca/Sg, несмотря на то, что при БКБ, в отличие от СР, Sg не является прямым фактором поражения организма человека, может не только отражать воздействие воды (причём источники воды, потребляемой грибами, могут быть не связаны с источниками водоснабжения населения) и почвы на грибы с повышением выделения ими способных вызывать БКБ и обострения ХОБЛ МТ, но и отражать параллелизм строения биогеоценоза и тела человека, являющегося экосистемой и включающего в себя и клетки организма человека, и микроорганизмы. Накопление микроэлементов в некоторых органах и тканях, в том числе волосах, может отражать не только патологические процессы, но и процессы саногенеза, хотя их чрезмерное усиление само может стать патологическим фактором. Некоторые отличия течения

БКБ в разных регионах Евразии можно объяснить тем, что её основной патологический процесс не является типовым, т. е. не полностью эндогенизируется, что иллюстрируется прекращением прогрессирования БКБ при переезде в здоровую местность. Так как основной патологический процесс БКБ не является типовым, а представляет собой расстройство функциональных систем, то особенности её течения зависят от вызвавших заболевание факторов. При этом БКБ является пылевой патологией и предметом медицины труда, так как болеют в основном в семьях оседлых земледельцев и полукочевников, причём при завозе продуктов и воды извне ЭО — только в непрофессиональных семьях, а все ЭО находятся в сельской местности [31].

Потребление необходимых стенкам артерий, сердечной мышце и автономной нервной системе сердца микроэлементов очагами опухолей и воспаления в организме человека, в том числе в соединительной ткани и в костной ткани, по нашему мнению, может влиять на работу сердечной мышцы вплоть до развития острой сердечной недостаточности, в том числе с летальным исходом. Это может происходить при самых разных заболеваниях, а также способствовать развитию хронической сердечной недостаточности и аритмий (характерных, например, и для БКБ, несмотря на отсутствие стенокардии и инфарктов миокарда при БКБ без сочетания с сердечно-сосудистыми заболеваниями) вследствие репликации вирусов в сердечной мышце и в стенках артерий при дефиците, избытке или дисбалансе микроэлементов в организме и в самих стенках артерий и сердечной мышце. Воспалительно-дегенеративное поражение нервных структур сердца вследствие вирусной инфекции, тропной к нервному аппарату и вегетативным ганглиям, может приводить к внезапной сердечной смерти, так же как тропность к кардиомиоцитам приводит к кардиомиопатии, как при Кешанской болезни, когда из-за дефицита микроэлементов, необходимых для правильной репликации вирусов, вирусы, обычно не тропные к кардиомиоцитам, поражают их. При этом, в соответствии с положением Розаса Байеса, до тех пор, пока не доказано обратное, редкие заболевания и феномены в медицине, например БКБ, рассматриваются как вариант частых [23]. С другой стороны, в древности на большей части территории Российской Федерации как раз БКБ была очень частой [22], и некоторые современные распространённые заболевания могут рассматриваться как её варианты. Поскольку некоторые эссенциальные микроэлементы сердечной мышцы необходимы для репликации вирусов, то при дефиците или дисбалансе микроэлементов репликация вирусов производится с ошибками. В результате вирусы, в процессе эволюции приспособившиеся не нарушать функционирования жизненно важных систем организма-хозяина, из-за нарушения правильного воспроизводства их нуклеиновых кислот могут приобретать тропность к нервному аппарату, сердечным ганглиям, кардиомиоцитам. Этот наш вывод в результате исследования значения анти-тел к цитомегаловирусу при гипертензионной болезни

подтверждается данными об исследовании содержания цитомегаловируса при остром коронарном синдроме [15, 45]. Это наше мнение подтверждается также зависимостью от содержания Se в организме в диете и человека, и животных-резервуаров инфекций, частоты и исходов поражений людей не только ВИЧ, хантавирусами геморрагической лихорадки с почечным синдромом, но и способных приобретать тропность к миокарду и клеткам автономной нервной системы с вероятностью возникновения фатальных аритмий вирусов гриппа и Коксаки [37]. Повышение скорости распространения пульсовой волны как суррогата региональной жёсткости эластических и мышечно-эластических артерий с прогрессированием ИБС, гипертонической болезни, хронической обструктивной болезни лёгких, истощающих сердечную мышцу нефатальных аритмий также может быть реакцией саногенеза, защищающей от фатальных аритмий [12]. Фатальные аритмии и связанные с ними тромбозы могут возникать в том числе при снижении ЦИ ЧСС в результате дисбаланса Ва и Sg из-за избыточного поступления Sg. Нет жёсткой грани между заболеваниями, вызванными воздействиями живых организмов, и неинфекционными заболеваниями. Поэтому вакцины и, поскольку вирусы способны образовывать инфекционные коалиции с подверженными действию антибиотиков клеточными микроорганизмами, антибиотики могут быть эффективны при профилактике и терапии не только инфекционных, но и неинфекционных заболеваний. Результаты анализа содержания химических элементов в волосах больных ИБС позволяют лучше понять также патологические процессы при БКБ, болезни Альцгеймера и остеопорозе. Они способны облегчить правильную интерпретацию результатов исследования БКБ для разработки новых методов профилактики и терапии не только этой болезни, но и заболеваний, сопутствующих атеросклерозу, в частности ИБС, а также ХОБЛ, ОА, остеопороза. В частности, и ИБС, и БКБ связаны с медь-дефицитной диетой, причём БКБ — с этой диетой, бедной белками и в сезон холодов — железом. Но в западном полушарии дефицит Se увеличивает только частоту ПОА, БКБ там нет [1, 11, 43]. Ранее мы уже показали связь химического состава волос с развитием системного остеопороза, характерного и для БКБ, и для первичного остеопороза [29].

Воспалительные поражения подвздошной кишки значимо и значительно (в 1,5 раза) повышают интервал QT и его дисперсию даже у больных без сердечно-сосудистых заболеваний [33]. Но, отражая ритмику подвздошной кишки, содержание в волосах щелочноземельных металлов Sg и Ва может свидетельствовать о разнообразных особенностях обмена веществ и биологических ритмов в организме человека, а при потреблении местных продуктов — и в биогеоценозе его обитания. При этом диета долгожителей Кавказа отличается в разы большим, чем в местностях без долгожителей, потреблением содержащих Sg молочных продуктов, исключением из неё грибов. При БКБ эффективен кетоконазол, не только вследствие

торможения образования андрогенов, при ароматизации которых образуются способствующие раннему окостенению эстрогены, но, возможно, и за счёт торможения синергичной уровским токсинам и МТ деятельности микофлоры тела человека. Продукты молочнокислых бактерий (содержащиеся не только в молочнокислых продуктах, но и, например, в красном вине) могут изменить метаболизм токсинов грибов, всегда содержащихся в пище и в самом организме человека вследствие наличия у человека грибов-сапрофитов, со снижением уровня и воздействия МТ. МТ могут способствовать патогенезу не только БКБ, ХОБЛ, заболеваний желудочно-кишечного тракта, но и различных авитаминозов и других заболеваний. МТ могут действовать синергетически с вирусами, снижать продолжительность жизни человека [1, 3, 7, 11, 41].

Признаком начального этапа БКБ ещё до появления изменений на рентгенограмме, обязательно присутствующих только по истечении начального этапа, может быть потеря возможности активно сгибать хотя бы один из дистальных (между дистальной (ногтевой) и средней фалангой) суставов клинически поражаемых БКБ первой степени II, III, IV пальцев кистей рук. Частые ранние, на доклинической стадии, поражения периферических нервов, часто с демиелинизацией аксонов нейронов, дистальных отделов конечностей, — признак всех заболеваний, клиническому проявлению которых предшествует повышение уровня ТТГ (например, первичного гипотиреоза, в том числе часто коморбидного, при ИБС субклинического, вибрационной болезни [30], БКБ). Но при БКБ на начальном этапе могут поражаться только нервы II–IV пальцев только верхних конечностей, в то время как при ПОА кистей рук вначале поражаются I и III. В последнее время одинаково часто БКБ поражаются и мужской, и женский пол, а у ряда больных вслед за суставами II–IV пальцев рук утолщаются суставы запястья, и без поражения других суставов кистей рук — голеностопные, коленные, что напоминает поражение суставов при ревматоидном артрите — коморбидном заболевании БКБ 2–3-й степени, а не I-й [11, 36, 38]. Для своевременного диагноза БКБ на её начальном этапе в ЭО и в регионах sporadических заболеваний целесообразно проводить регулярные проверки возможности активного сгибания дистальных суставов II–IV пальцев рук всех детей и молодёжи от 4 до 26 лет. Хотя бы людям из групп риска показаны радиологические исследования указательных и безымянных пальцев кистей рук (с учётом дозы радиации). Детей до 2 лет при высоком в пределах ПДК содержании Sg в питьевой воде целесообразно поить привозной водой, увеличивать продолжительность грудного вскармливания. Для снижения воздействия радиации на грибы (с последующим воздействием МТ на организм человека) и людей водоснабжение населения, в том числе на дачах и объектах индивидуального строительства, целесообразно обеспечивать через аэрированные башни Рожновского. Необходимы употребление

только кипячёной воды, вакцинация против пневмококков, использование комбинированных вакцин против вирусов гриппа, парагриппа I типа, краснухи, кори, паротита, полноценные диета и двигательная активность, развитие мелкой моторики детей.

ICPE 9000 предоставлен Санкт-Петербургским государственным университетом.

Авторство

Чащин В. П. внёс существенный вклад в интерпретацию данных литературы и исследования, концепцию, дизайн исследования; Иванова М. А. внесла существенный вклад в дизайн исследования, получение данных и их интерпретацию, а также составила первый вариант текста статьи; Иванова О. М. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение данных, интерпретацию данных исследования и литературы.

У авторов отсутствует конфликт интересов.

Чащин Валерий Петрович — SPIN 6989-1648; ORCID 0000-0002-2600-0522

Иванова Ольга Михайловна — ORCID 0000-0001-5360-0278; SPIN G-7189-2015

Иванова Мария Александровна — ORCID 0000-0002-7379-4935; SPIN E-4161-2019

Список литературы

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 496 с.
2. Беккер З. Э. Физиология и биохимия грибов. М.: Изд-во Московского университета, 1988. 230 с.
3. Бердников П. П., Дьяченко Ю. А. Коррекция здоровья молодежи в селенодефицитном регионе. Благовещенск: ДальГАУ, 2013. 117 с.
4. Бережная С. В., Якупов Э. З., Захаров Ю. А. Изменения содержания химических элементов в волосах больных хронической ишемией головного мозга // Земский врач. 2013. № 2 (19). С. 29–33.
5. Бобун И. И., Иванов С. И., Унгурияну Т. Н., Гудков А. Б., Лазарева Н. К. К вопросу о региональном нормировании химических веществ в воде на примере Архангельской области // Гигиена и санитария. 2011. № 3. С. 91–95.
6. Внутренние незаразные болезни животных / под ред. Г. Г. Щербакова и др. СПб.: Лань, 2014. 704 с.
7. Ермаков В. В. Техногенез биосферы и биогеохимическое преобразование её таксонов // Экологический мониторинг окружающей среды: материалы международной школы молодых ученых / Новосибирский государственный аграрный университет. Новосибирск, 2016. С. 76–95.
8. Ермаков В. В., Роцина И. А., Тютиков С. Ф., Сафонов В. А., Дегтярёв А. П., Кречетова Е. В., Карпова Е. А., Берёзкин В. Ю., Данилова В. Н., Хушвахтова С. Д. Новое открытие в познании причин урсовской (Кашина-Бека) болезни, обусловленной геохимическими факторами // Экологические и биологические системы. Сер. «Ecological studies, hazards, solutions» / отв. ред.: С. В. Котелевцев, С. Н. Орлов, О. М. Горшкова, С. А. Остроумов. М.: ООО «МАКС Пресс», 2015. С. 130–132.
9. Зацепин С. Т. Костная патология взрослых. Руководство для врачей. М.: Медицина, 2001
10. Иванов Ю., Киреев И. С. Комбинированное суточное мониторирование электрокардиограммы и артериального давления. Методические возможности и

клинические преимущества. СПб.: Инкарт, 2012. ISBN 978-5-93396-025-6.

11. *Иванова М. А., Иванова О. М.* Новые медицинские технологии в исследовании болезни Кашина-Бека и ХОБЛ // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 4. С. 209–218.

12. *Иванова М. А., Иванова О. М.* Значение жёсткости сосудов в патогенезе аритмий и гипертонической болезни // Экология человека. 2014. № 2. С. 3–11.

13. *Иванова О. М.* Воздействие низкодозовых техногенных ионизирующих излучений и нервно-психического напряжения на процессы биорегуляции // Экология человека. 2008. № 10. С. 20–25.

14. *Иванова О. М.* Регуляция артериального давления и гипертоническая болезнь у больных ишемической болезнью сердца // Вестник новых медицинских технологий. 2003. Т. 10, № 3. С. 70–75.

15. *Иванова О. М.* Анатомический и молекулярный принципы в новых технологиях исследования типового патологического процесса ишемической болезни сердца // Вестник новых медицинских технологий. 2002. № 4. С. 54–58.

16. *Иванова О. М.* Показатели эндокринной системы и психоэмоциональная нагрузка // Актуальные вопросы эндокринологии: тез. докл. 4-й Всерос. науч.-практ. конф. Пермь, 2000. С. 104–105.

17. *Иванова О. М.* Остеоартроз. СПбГПМА, 2000. 25 с.

18. *Иванова О. М., Иванова М. А.* Изучение свойств эритроцитов // Профилактическая и клиническая медицина. 2011. № 4 (41). С. 75–82.

19. *Иванова О. М., Иванова М. А.* Дегенеративно-дистрофические поражения суставов как проявления заболевания соединительной ткани // Склифосовские чтения: материалы науч.-практ. конф. Тирасполь, 2011

20. *Иванова О. М., Шанин В. Ю.* Значение микроэлементов в развитии типового патологического процесса ишемической болезни сердца // Военно-медицинский журнал. 2003. Т. 324, № 2. С. 37–41.

21. *Каймак Т. В., Нуртасова А. Н., Омаров Н. Б., Бактыбаева Р. Ж., Танышева Г. А.* К вопросу о частоте клинических форм миастении и тактики ведения в зависимости от тяжести течения заболевания по данным неврологического отделения города Семей // Наука и здравоохранение. 2015. № 5. С. 36–41.

22. *Лебединская Г. В.* Патологические изменения на скелетах из Эквенского могильника // Арутюнов С. А., Сергеев Д. А. Древние культуры азиатских эскимосов: (Уэленский могильник). М.; Берлин: Директ-Медиа, 2014. ISBN: 978-5-4458-3542-4. 210 с. Прил. с. 195–202.

23. *Лиманкина И. Н.* Электрокардиографические феномены в психиатрической практике. СПб.: Инкарт, 2009.

24. *Лыжина А. В., Бузинов Р. В., Унгуриян Т. Н., Гудков А. Б.* Химическое загрязнение продуктов питания и его влияние на здоровье населения Архангельской области // Экология человека. 2012. № 12. С. 3–9.

25. *Мальцев С. В., Мансурова Г. Ш.* Современные аспекты остеопороза у детей // Практическая медицина. 2015. № 7 (92). С. 15–21.

26. *Никанов А. Н., Кривошеев Ю. К., Гудков А. Б.* Влияние морской капусты и напитка «Альгапект» на минеральный состав крови у детей – жителей г. Мончегорска // Экология человека. 2004. № 2. С. 30–32.

27. *Охалкина В. Ю., Ханжин А. А.* Эколого-эпидемиологическое значение микровицетов рода *Fusarium* // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 2. С. 5–14.

28. *Полякова Е. В.* Стронций в источниках водоснаб-

жения Архангельской области и его влияние на организм человека // Экология человека. 2012. № 2. С. 9–14.

29. *Чащин В. П., Аскарлова З. Ф., Ларионова Т. К., Кудашева А. Р.* Элементный статус работников горно-обогатительного предприятия // Медицина труда и промышленная экология. 2007. № 10. С. 9–13.

30. *Шнигель А. С.* Особенности фармакодинамики тиролиберина при воздействии профессиональных вредностей. Самара, 2000.

31. Big bone disease: a multidisciplinary approach of Kashin-Beck disease in Tibet Autonomous Region (P.R. China) // Malaisse F., Mathieu F. (editors) Presses Agronomiques de Gembloux, 2008. P. 148.

32. *Cao J., Li S., Shi Z., Yue Y., Sun J., Chen J., Fu Q., Hughes C. E., Caterson B.* Articular cartilage metabolism in patients with Kashin-Beck disease: an endemic osteoarthropathy in China // Osteoarthritis and cartilage. 2008. Vol. 16, N 6. P. 680–688.

33. *Curione M., Aratari A., Amato S. et al.* A study on QT interval in patients affected with inflammatory bowel disease without cardiac involvement // Intern Emerg Med. 2010. Vol. 5. P. 307. Doi: 10.1007/s11739-010-0382-9.

34. *Dadachova E., Bryan R. A., Huang X., Moadel T., Schweitzer A. D., Aisen P., Nosanchuk J. D., Casadevall A., Rutherford J.* Ionizing radiation changes the electronic properties of melanin and enhances the growth of melanized fungi // PLoS ONE. 2007. Vol. 2 (5). P. e457. Doi: 10.1371/journal.pone.0000457.

35. *Dawson E. B., Frey M. J., Moore T. D., McGanity W. J.* Relationship of metal metabolism to vascular disease mortality rates in Texas // Am J Clin Nutr. 1978. Vol. 31. P. 1188–1197.

36. *Fang H., Farooq U., Wang D., Yu F., Younus M. I., Guo X.* Reliability and validity of the EQ-5D-3L for Kashin-Beck disease in China // SpringerPlus. 2016. Vol. 5 (1). P. 1924. Doi: 10.1186/s40064-016-3613-3.

37. *Fang L.-Q., Goeijenbier M., Zuo S.-Q., Wang L.-P., Liang S., Klein S. L., Li X.-L., Liu K., Liang L., Gong P., Glass G. E., van Gorp E., Richardus J. H., Ma J.-Q., Cao W.-C., de Vlas S. J.* The Association between Hantavirus Infection and Selenium Deficiency in Mainland China // Viruses. 2015. Vol. 7 (1). P. 333–351. Doi: 10.3390/v7010333.

38. *Farooq U., Guo X., Irshad R., Yaqoo S.* Pattern of joints involvement in Kashin-Beck disease: a local osteochondropathy in China // J Ayub Med Coll Abbottabad. 2010. Vol. 10 (22). P. 97–100.

39. *Frandsen R. J. N., Rasmussen S. A., Knudsen P. B., Uhlig S., Petersen D., Lvsøe E., Golfredsen C. H., Giese H., Larsen T. O.* Black perithecial pigmentation in *Fusarium* species is due to the accumulation of 5-deoxybostrycoidin-based melanin // Scientific Reports. 2016. Vol. 6, Article number: 26206. Doi: 10.1038/srep26206.

40. *Gallagher J. A., Ranganath L. R., Boyde A.* Lessons from rare diseases of cartilage and bone // Current Opinion in Pharmacology. 2015 June. Vol. 22. P. 107–114.

41. *Guo X., Ma W.-J., Zhang F., Ren F.-L., Qu C.-J., Lammi M. J.* Recent advances in the research of an endemic osteochondropathy in China: Kashin-Beck disease // Osteoarthritis and Cartilage. 2014. Vol. 22. P. 1774–1783.

42. *Ivanova O. M.* Relationship between blood pressure, blood cell counts, cardiovascular dynamics and serum copper, zinc and iron // Biogerontology. 2002. Vol. 3, Suppl 1. P. 68–69.

43. *Moreno-Reyes R., Suetens C., Mathieu F., Begaux F., Zhu D., Rivera M. T., Boelaert M., Nève J., Perlmutter M., Vanderpas J.* Kashin-Beck Osteoarthropathy in Rural Tibet in Relation to Selenium and Iodine Status // N Engl

J Med. 1998. Vol. 339, P. 1112–1120. Doi: 10.1056/NEJM199810153391604.

44. *Nesterov A. I.* The clinical course of Kashin-Beck disease // *Arthritis and rheumatism.* 1964. Vol. 7 (1). P. 29–40.

45. *Nikitskaya E. A., Grivel J. C., Maryukhnich E. V., Lebedeva A. M., Ivanova O. I., Savinova P. P., Shpektor A. V., Margolis L. B., Vasilieva E. Yu.* Cytomegalovirus in plasma of acute coronary syndrome patients // *Acta Naturae.* 2016. Vol. 8, 2 (29). P. 102–107.

46. *Ogawa-Wong A. N., Berry M. S., Seale L. A.* Selenium and Metabolic Disorders: An Emphasis on Type 2 Diabetes Risk // *Nutrients.* 2016. Vol. 8. P. 80. Doi: 10.3390/nu8020080.

47. *Qin Dw., Gu Z., Dai L., Ji C.* Protective Effects of Gallium, Germanium, and Strontium Against Ovariectomized Osteoporosis in Rats // *Biol Trace Elem Res.* 2013. Vol. 153. P.350. Doi: 10.1007/s12011-013-9694-8.

48. *Ribera A. B., Spitzer N. C.* Both barium and calcium activate neuronal potassium currents (calcium-dependent potassium current/transient potassium current/tetraethylammonium ion/whole-cell voltage clamp/ subtraction protocol) // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA Neurobiology.* 1987. Vol. 84. P. 6577–6581.

49. *Taubel J., Naseem A., Wang D., Arezina R., Lorch U., Camm A. J.* Repeated supratherapeutic dosing of strontium ranelate over 15 days does not prolong QTc interval in healthy volunteers // *British journal of clinical pharmacology.* August 2012. Vol. 74, Iss. 2. P. 296–303. Doi: 10.1111/j.1365-2125.2012.04190.

50. *Yang C., Wolf E., Röser K., Delling G., Muller P. K.* Selenium deficiency and fulvic acid supplementation induces fibrosis of cartilage and disturbs subchondral ossification in knee joints of mice: An animal model study of Kashin-Beck disease // *Virchows Archiv A Pathol Anat.* 1993. Vol. 423. P. 483. Doi: 10.1007/BF01606539.

References

1. Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Rish M. A., Strochkova L. S. *Mikroelementozy cheloveka* [Human microelementoses]. Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p.

2. Bekker Z. Ye. *Fiziologiya i biokhimiya gribov* [Physiology and biochemistry of fungi]. Moscow, 1988, 230 p.

3. Berdnikov P. P., D'yachenko Yu. A. *Korreksiya zdorov'ya molodezhi v selenodefitsitnom regione* [Correction of youth health in selenium-deficient region]. Blagoveshensk, 2013. 117 p..

4. Berezhnaya S. V., Yakupov Ye. Z., Zaharov Yu. A. Measurements of chemical element contents in hair of patients with chronic ischemia of brain. *Zemskii vrach* [Zemsky doctor]. 2013, 2 (19), pp. 29-33. [In Russian]

5. Bobun I. I., Ivanov S. I., Unguryanu T. N., Gudkov A. B., Lazareva N. K. On the issue of regional normalization of chemicals in water as an example of the Arkhangelsk Region. *Gigiena i Sanitariya.* 2011, 3, pp. 91-95. [In Russian]

6. *Vnutrennie nezaraznye bolezni zhivotnykh* [Internal diseases of animals]. Eds. G. G. Shherbakov et al. Saint Petersburg, 2014, 704 p.

7. Ermakov V. V. Tekhnogenez biosfery i biogeokhimijskoe preobrazovanie ee taksonov [Technogenesis of biosphere and biogeochemical transformation of its taxons]. In: *Ekologicheskii monitoring okruzhayushchei sredy. Materialy mezhdunarodnoi shkoly molodykh uchennykh* [Environmental monitoring: school of young scientists]. Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnii universitet. Novosibirsk, 2016, pp. 76-95.

8. Ermakov V. V., Roshhina I. A., Tyutikov S. F., Safonov V. A., Degtyariov A. P., Krechetova E. V., Karpova E. A.,

Berizozkin V. Yu., Danilova V. N., Hushvahtova S. D. Novoe otkrytie v poznanii prichin urovskoi (Kashina-Beka) bolezni, obuslovennoi geokhimijskimi faktorami [New discovery in kenning of Urov (Kashin-Beck) disease, related to geochemical factors]. In: *Ekologicheskie i biologicheskie sistemy. Ser. "Ecological studies, hazards, solutions"* [Environmental and biologic systems. «Ecological studies, hazards, solutions»]. Eds: S. V. Kotelevcev, S. N. Orlov, O. M. Gorshkova, S. A. Ostroumov. Moscow, 2015, pp. 130-132

9. Zatsepin C. T. *Kostnaya patologiya vzroslykh. Rukovodstvo dlya vrachei* [Bone pathology of adults. Guide for physicians.] Moscow, Meditsina Publ., 2001.

10. Ivanov Yu., Kireenkov I. S. Combined holter monitoring and blood pressure monitoring. Methodical availability and clinical Methodical availability and clinical strengths. Saint Petersburg, Inkart Publ., 2012, ISBN 978-5-93396-025-6. [In Russian]

11. Ivanova M. A., Ivanova O. M. New medical technologies in research of Kashin-Beck disease and of COPD. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of New Medical Technologies]. 2017, 24 (4), pp. 209-218. [In Russian]

12. Ivanova M. A., Ivanova O. M. The significance of vessel rigidity in the pathogenesis of arrhythmia and essential hypertension. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 2, pp. 3-11. [In Russian]

13. Ivanova O. M. Effect of low-dose technogenic ionizing radiation and of neuropsychologic stress on bioregulation processes. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2008, 10, pp. 20-25. [In Russian]

14. Ivanova O. M. Blood pressure regulation and essential hypertension in coronary artery disease patients. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of New Medical Technologies]. 2003, 10 (3), pp. 70-75. [In Russian]

15. Ivanova O. M. Anatomic and molecular principles in new technologies of research of typical pathologic process of coronary artery disease. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of New Medical Technologies]. 2002, 4, pp. 54-58. [In Russian]

16. Ivanova O. M. Showings of endocrine system and psychoemotional stress. *Topical questions of Endocrinology. Book of abstracts.* Perm, 2000, pp. 104-105. [In Russian]

17. Ivanova O. M. *Osteoartroz* [Osteoarthritis]. Saint-Petersburg, 2000.

18. Ivanova O. M., Ivanova M. A. Study of red blood cell properties. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina* [Preventive and Clinical Medicine]. 2011, 4 (41), pp. 75-82. [In Russian]

19. Ivanova O. M., Ivanova M. A. Degenerative-dystrophic damage of joints as the manifestation of connective tissue disease. *Sklifosovski reading: materials of scientific-practical conference.* Tiraspol, 2011. [In Russian]

20. Ivanova O. M., Shanin V. Yu. Significance of trace elements in the development of typical pathologic process of coronary artery disease. *Voенno-meditsinskii zhurnal.* 2003, 324 (2), pp. 37-41. [In Russian]

21. Kaimak T. V., Nurtasova A. N., Omarov N. B., Baktybaeva R. Zh., Tanysheva G. A. To the problem of myasthenia clinical form frequency and tactics of treatment depending on disease severity according to the data of neurologic hospital unit in Semej. *Nauka i zdravoookhraneniye* [Science & Healthcare]. 2015, 5, pp. 36-41. [In Russian]

22. Lebedinskaya G. V. Pathologic changes on skeletons from Jekvensky burial. In: *Arutyunov S. A., Sergeev D. A. Ancient cultures of Asian Eskimos (Has the burial ground).* Moscow, Berlin, Direkt-Media Publ., 2014, ISBN: 978-5-4458-3542-4, 210 p., suppl. pp. 195-202. [In Russian]

23. Limankina I. N. *Elektrokardiograficheskie fenomeny v psikiatricheskoi praktike* [Electrocardiographic phenomenon in psychiatric practice]. Saint Petersburg, Inkart, 2009.
24. Lyzhina A. V., Buzinov R. V., Unguryanu T. N., Gudkov A. B. Chemical contamination of food and its impact on population health in Arkhangelsk region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 12, pp. 3-9. [In Russian]
25. Maltsev S. V., Mansurova G. Sh. Modern aspects of osteoporosis in children. *Prakticheskaya meditsina* [Practical Medicine]. 2015, 7 (92), pp. 15-21. [In Russian]
26. Nikanov A. N., Krivosheev U. K., Gudkov A. B. Influence of laminaria and the drink «Algapekt» on blood mineral composition in children - residents of Monchergorsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 2, pp. 30-32. [In Russian]
27. Ohapkina V. Yu., Hanzhin A. A. Environmental and epidemiologic significance of micromycetes *Fusarium*. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2012, 2, pp. 5-14. [In Russian]
28. Polyakova E. V. Strontium in water supply sources of Archangelsk region and its impact on human health. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 2, pp. 9-14. [In Russian]
29. Chashchin V. P., Askarova Z. F., Larionova T. K., Kudasheva A. R. Chemical element contents of workers of ore mining and processing mill. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2007, 10, pp. 9-13. [In Russian]
30. Shpigel A. S. *Osobennosti farmakodinamiki tiroliberina pri vozdeistvii professional'nykh vrednostei* [Especially pharmacodynamics tiroliberina when exposed to professional impurities]. Samara, 2000.
31. Big bone disease: a multidisciplinary approach of Kashin-Beck disease in Tibet Autonomous Region (P. R. China). In: Malaisse F, Mathieu F. (editors) *Presses Agronomiques de Gembloux*, 2008, p. 148.
32. Cao J, Li S, Shi Z, Yue Y, Sun J, Chen J, Fu Q, Hughes CE, Caterson B. Articular cartilage metabolism in patients with Kashin-Beck disease: an endemic osteoarthropathy in China. *Osteoarthritis and cartilage*. 2008, 16 (6), pp. 680-688.
33. Curione M., Aratari A., Amato S. et al. A study on QT interval in patients affected with inflammatory bowel disease without cardiac involvement. *Intern Emerg Med*. 2010, 5, p. 307, doi: 10.1007/s11739-010-0382-9.
34. Dadachova E, Bryan R A, Huang X, Moadel T, Schweitzer A D, Aisen P, Nosanchuk J D, Casadevall A, Rutherford J. Ionizing radiation changes the electronic properties of melanin and enhances the growth of melanized fungi. *PLoS ONE*. 2007.2 (5), p. e457, doi:10.1371/journal.pone.0000457.
35. Dawson E B, Frey M J, Moore T D, McGanity W J. Relationship of metal metabolism to vascular disease mortality rates in Texas. *Am J Clin Nutr*. 1978, 31, pp. 1188-1197.
36. Fang H, Farooq U, Wang D, Yu, Younus M I, Guo X.. Reliability and validity of the EQ-5D-3L for Kashin-Beck disease in China. *SpringerPlus*. 2016, 5, p. 1924, doi: 10.1186/s40064-016-3613-3.
37. Fang L-Q, Goeijenbier M, Zuo S-Q, Wang L-P, Liang S, Klein S L, Li X-L, Liu K, Liang L, Gong P, Glass G E, van Gorp E, Richardus J H, Ma J-Q, Cao W-C, de Vlas S J. The Association between Hantavirus Infection and Selenium Deficiency in Mainland China *Viruses*. 2015. 7 (1), p. 333-351, doi: 10.3390/v7010333.
38. Farooq U, Guo X, Irshad R, Yaqoo S.. Pattern of joints involvement in Kashin-Beck disease: a local osteoarthropathy in China. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. 2010, 10 (22), pp. 97-100.
39. Frandsen RJN, Rasmussen SA, Knudsen PB, Uhlig S, Petersen D, Lvsoe E, Gotfredsen CH, Giese H, Larsen TO. Black perithecial pigmentation in *Fusarium* species is due to the accumulation of 5-deoxybostrycoidin-based melanin. *Scientific Reports*. 2016, 6, Article number: 26206, doi: 10.1038/srep26206.
40. Gallagher JA, Ranganath LR, Boyde A. *Lessons from rare diseases of cartilage and bone Current Opinion in Pharmacology*. 2015 June, 22, pp. 107-114.
41. Guo X, Ma W-J, Zhang F, Ren F-L, Qu C-J, Lammi MJ. Recent advances in the research of an endemic osteoarthropathy in China: Kashin-Beck disease. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2014, 22, pp. 1774-1783.
42. Ivanova O. M. Relationship between blood pressure, blood cell counts, cardiovascular dynamics and serum copper, zinc and iron. *Biogerontology*. 2002, 3 (1), pp. 68-69.
43. Moreno-Reyes R., Suetens C., Mathieu F., Begaux F., Zhu D., Rivera M. T, Boelaert M., Nève J., Perlmutter M., Vanderpas J. Kashin-Beck Osteoarthropathy in Rural Tibet in Relation to Selenium and Iodine Status. *N Engl J Med*. 1998, 339, pp. 1112-1120, doi: 10.1056/NEJM199810153391604.
44. Nesterov A. I. The clinical course of Kashin-Beck disease. *Arthritis and rheumatism*. 1964, 7 (1), pp. 29-40.
45. Niktskaya E. A., Grivel J. C., Maryukhnich E. V., Lebedeva A.M., Ivanova O. I., Savinova P. P., Shpektor A. V., Margolis L. B., Vasilieva E. Yu. Cytomegalovirus in plasma of acute coronary syndrome patients. *Acta Naturae*. 2016, 8, 2 (29), pp. 102-107.
46. Ogawa-Wong AN, Berry MS, Seale LA. Selenium and Metabolic Disorders: An Emphasis on Type 2 Diabetes Risk. *Nutrients*. 2016, 8, p. 80, doi: 10.3390/nu8020080.
47. Qin Dw., Gu Z., Dai L., Ji C. Protective Effects of Gallium, Germanium, and Strontium Against Ovariectomized Osteoporosis in Rats. *Biol Trace Elem Res*. 2013, 153, p. 350, doi: 10.1007/s12011-013-9694-8.
48. Ribera AV, Spitzer NC. Both barium and calcium activate neuronal potassium currents (calcium-dependent potassium current/transient potassium current/tetraethylammonium ion/whole-cell voltage clamp/ subtraction protocol). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA Neurobiology*. 1987, 84, pp. 6577-6581.
49. Taubel J, Naseem A, Wang D, Arezina R, Lorch U, Camm AJ. Repeated suprathreshold dosing of strontium ranelate over 15 days does not prolong QTc interval in healthy volunteers. *British journal of clinical pharmacology*. August 2012, 74 (2), pp. 296-303, doi: 10.1111/j.1365-2125.2012.04190.
50. Yang C., Wolf E, Röser K, Delling G, Muller PK. Selenium deficiency and fulvic acid supplementation induces fibrosis of cartilage and disturbs subchondral ossification in knee joints of mice: An animal model study of Kashin-Beck disease. *Virchows Archiv A Pathol Anat*. 1993, 423, p. 483, doi: 10.1007/BF01606539.

Контактная информация:

Иванова Ольга Михайловна – доктор медицинских наук, доцент кафедры госпитальной терапии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» Правительства Российской Федерации

Адрес: 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9

E-mail: o.m.ivanova@spbu.ru

ЭТНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОПОГРАФИИ ЖИРОВОЙ МАССЫ ТЕЛА У ЖЕНЩИН РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

© 2019 г. В. С. Гладкая, *В. Л. Грицинская

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова», г. Абакан;
*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
Минздрава России, г. Санкт-Петербург

Цель исследования – выявить этнические особенности возрастной топографии жировой ткани у женщин Республики Хакасия. *Методы.* Обследованы 1 384 женщины юношеского (16–20 лет) и первого периода зрелого (21–35 лет) возраста коренного (монголоиды) и пришлого (европеоиды) населения республики. Проведено измерение длины и массы тела, обхватов грудной клетки и ягодиц, толщины жировых складок в восьми точках; определены индекс массы тела и компонентный состав тела. *Результаты.* С возрастом увеличение массы тела, индекса массы тела (ИМТ), обхватов грудной клетки и ягодиц у европеоидов больше, чем у хакасов. Абсолютное количество жировой ткани у европеоидов выше, чем у хакасов ($p < 0,03 \div p = 0,05$); с возрастом абсолютное и относительное содержание жировой массы тела увеличивается в обеих группах ($p < 0,001$). Толщина жировых складок у европеоидов в юношеском возрасте выше на бедре и голени ($p < 0,001 \div p = 0,015$); в первом периоде зрелого возраста – на верхних и нижних конечностях ($p < 0,001 \div p = 0,026$). У хакасов отмечено преобладание толщины жировых складок на туловище ($p < 0,001 \div p = 0,001$). *Вывод.* Выявленные возрастные и этнические особенности соматометрических показателей целесообразно учитывать при персонализированном подходе к диагностике и профилактике метаболического синдрома у жителей республики.

Ключевые слова: женщины Хакасии, соматометрия, жировая масса, толщина жировых складок

ETHNIC PECULIARITIES OF FAT MASS DISTRIBUTION AMONG WOMEN IN THE KHAKASSIA REPUBLIC

V. S. Gladkaya, *V. L. Gritsinskaya

Katanov Khakass State University, Abakan, Russia; *Saint Petersburg State Pediatric Medical University,
Saint-Petersburg, Russia

The aim - to identify ethnic peculiarities of age-related adipose tissue distribution among women in the Khakassia Republic. *Methods.* We examined 1 384 women aged 16-20 years and 21-35 both Asian and Caucasian. Body height, weight, chest- and buttocks circumferences we measures. In addition eight site skin-fold measurements were taken. Body mass index and components of body composition were calculated. *Results.* Body weight, body mass index, chest and buttocks circumferences were greater among Caucasian women compared to Asians. The absolute amount of adipose tissue in Caucasians exceeded correspondent values for Asians. Both absolute and relative fat mass increased with age in both groups. Skinfold thickness was greater in higher hip and lower leg compared to other sites in the younger age-group of Caucasian women. In the older Caucasian age-group skinfold thickness was greater on the upper and lower extremities compared to other sites. To the contrary, skinfold thickness was greater on the body in Asian women. *Conclusion.* Ethnic peculiarities of the distribution of adipose tissue in Caucasian and Asian women should be taken into account using personalised approach to prevention, diagnosis and treatment of the metabolic syndrome among residents of Khakassia Republic.

Key words: women, Khakassia, anthropometry, fat mass, skin-fold thickness

Библиографическая ссылка:

Гладкая В. С., Грицинская В. Л. Этнические особенности топографии жировой массы тела у женщин Республики Хакасия // Экология человека. 2019. № 4. С. 48–53.

Gladkaya V. S., Gritsinskaya V. L. Ethnic Peculiarities of Fat Mass Distribution among Women in the Khakassia Republic. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 48-53.

В настоящее время одной из актуальных медико-социальных задач является эффективная профилактика развития метаболического синдрома, приводящего к снижению качества жизни и сокращению её продолжительности [7]. Среди факторов, влияющих на формирование метаболического синдрома, в большей степени внимание уделяется потреблению большого количества высококалорийной пищи, низкой физической активности и генетической предрасположенности. Выявлено, что генетические факторы риска могут проявляться в конституциональных особенностях распределении жировой ткани, активности и

чувствительности к инсулину основных ферментов углеводного и жирового обмена [1, 6]. В настоящее время доминирующим остается мнение, что патогенетической основой развития метаболического синдрома является феномен инсулинорезистентности периферических тканей [10, 12]. Одновременно существует точка зрения, согласно которой ключевая роль в патогенезе метаболического синдрома принадлежит абдоминальному ожирению. Жировая ткань висцеральной области имеет высокую плотность андрогенных и кортикостероидных рецепторов, богатую иннервацию, широкую капиллярную сеть,

обладает метаболической активностью [4]. Дисфункция висцеральной жировой ткани заключается в дисбалансе секреции адипокинов, гиперпродукции провоспалительных цитокинов и свободных жирных кислот, которые, в свою очередь, являются факторами, способствующими развитию инсулинорезистентности и большинства компонентов метаболического синдрома [5, 13]. Доказано, что риск коронарных и церебральных расстройств увеличивается пропорционально выраженности абдоминального ожирения [2]. Однако опубликованы данные, что у коренных жителей Республики Хакасия (монголоидов) даже при минимальной степени абдоминального ожирения отмечается выраженное утолщение комплекса интима-медиа сонных артерий, что значительно повышает риск сердечно-сосудистых осложнений [8]. Данное обстоятельство послужило поводом для проведения нашего исследования, целью которого мы поставили выявить этнические особенности возрастной топографии жировой ткани у женщин Республики Хакасия.

Методы

Методом случайной выборки выполнено одномоментное поперечное обследование 1 384 женщин в возрасте от 16 до 35 лет, проживающих в Республике Хакасия Сибирского федерального округа. Для изучения явления популяционного диморфизма всех обследуемых разделили на группы пришлого и коренного населения. К коренному населению относили женщин монголоидов — хакасок, которые отрицали факт метисации среди представителей трёх предшествующих поколений; к пришлому населению — европеоидов, проживающих на территории республики не менее 5 лет. В соответствии с возрастной периодизацией участницы исследования поделены на две подгруппы: женщины юношеского (16–20 лет) и первого периода зрелого (21–35 лет) возраста. Сформированы следующие группы: 1-я — женщины-хакаски юношеского возраста (медиана возраста 17,3 (17,2–17,4) года; 405 человек); 2-я — женщины-хакаски первого периода зрелого возраста (медиана возраста 27,8 (27,4–28,2) года; 379 человек); 3-я — женщины-европеоиды юношеского возраста (медиана возраста 18,0 (17,0–18,0) года; 378 человек); 4-я — женщины-европеоиды первого периода зрелого возраста (медиана возраста 25,0 (23,0–28,0) года; 222 человека).

В исследовании приняли участие женщины, не имеющие хронической соматической патологии и подписавшие добровольное информированное согласие на обследование. Исследование включало интервьюирование и соматометрию: измерение длины и массы тела, обхватов грудной клетки и ягодиц, толщины жировых складок с помощью калиперометрии в восьми точках: на плече спереди, плече сзади, предплечье, спине, грудной клетке, животе, бедре и голени. Исследование толщины жировых складок позволило определить уровень содержания жировой массы в организме и топографию её распределения.

Расчётным путем определены компонентный состав тела. Рассчитан индекс массы тела (ИМТ) путём деления массы тела (кг) на квадрат длины тела (m^2). В соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения [14] за средние показатели ИМТ приняты значения от 18,5 до 24,9 kg/m^2 ; дефицит массы тела (ДМТ) регистрировался при значениях ИМТ ниже 18,5 kg/m^2 ; при значениях ИМТ 25,0 kg/m^2 и выше констатировалась избыточная масса тела (ИзМТ). Определение жирового компонента тела проведено по методу Матейки [11]; проанализированы абсолютные и относительные показатели жировой ткани в организме.

Статистическая обработка материала исследования выполнена с помощью прикладных программ STATISTICA v.10.0 © STATSOFT, USA. Применялись непараметрические методы. Базы данных проверены на нормальность распределения выборки с помощью критерия Колмогорова — Смирнова. Данные представлены медианой (Me) и процентильным интервалом 25–75 (Q1–Q3). Качественные показатели представлены в виде процентной доли и 95 % доверительного интервала для доли (95 % ДИ). Значимость межгрупповых различий количественных признаков определялась с использованием непараметрического u -критерия Манна — Уитни, качественных — χ^2 -критерия Пирсона (с поправкой Йейтса). Различия результатов считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Важными показателями физического развития человека являются длина и масса тела; полученные данные представлены в табл. 1. Значения длины тела у женщин-европеоидов выше, чем у хакасок, и не различались по возрасту; у женщин хакасок в юношеском возрасте они выше, чем у представительниц первого периода зрелого возраста. Аналогичные данные получены при анализе значений массы тела: масса тела у представительниц пришлого населения выше, чем у женщин коренного населения, имеет тенденцию к увеличению с возрастом; разница показателей статистически значима.

Обхваты грудной клетки и ягодиц в значительной степени характеризуют уровень жира отложения. Показатели обхвата грудной клетки у женщин-европеоидов выше, чем у представительниц коренного населения; у женщин первого периода зрелого возраста больше, чем у лиц юношеского возраста, в обеих этнических группах; разница показателей статистически значима. Размеры обхвата ягодиц также больше у европеоидов, чем у женщин-хакасок; отмечалось увеличение значений показателей с возрастом, причём в большей степени выраженное у представительниц пришлого населения (см. табл. 1).

Интегральным показателем нутритивного статуса в мировой практике признан ИМТ. Выявлено, что у большинства женщин ИМТ соответствовал нормальным вариантам физического развития; данные

Таблица 1

Соматометрические показатели женщин, Ме (Q1–Q3)

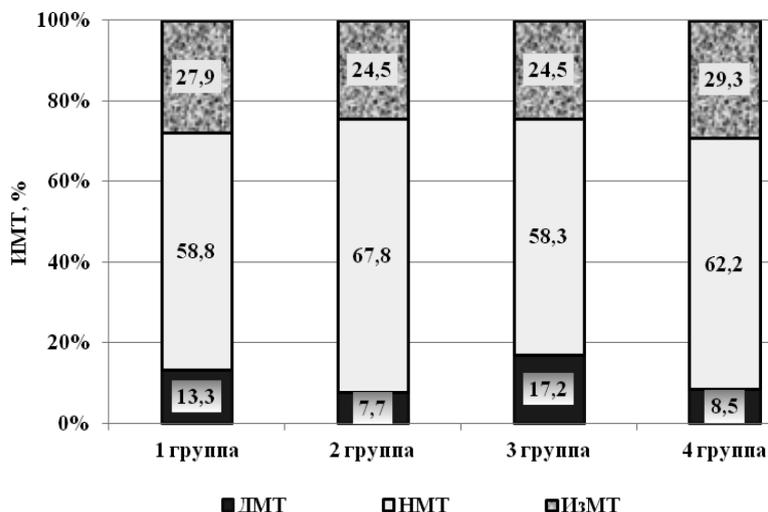
Показатель	Группа женщин				Статистическая значимость различий
	1 n=405	2 n=379	3 n=378	4 n=222	
Длина тела, см	158,0 (154,0–162,0)	155,5 (152,0–159,0)	164,0 (159,0–168,0)	162,0 (159,0–167,5)	$P_{1-2;1-3;2-4} < 0,001$ $P_{3-4} = 0,091$
Масса тела, кг	51,5 (47,0–56,0)	54,0 (49,0–61,0)	54,5 (50,0–60,0)	60,0 (54,4–69,0)	$p < 0,001$
Обхват грудной клетки, см	80,0 (76,0–83,0)	82,0 (79,0–86,0)	81,0 (78,0–85,0)	85,0 (80,0–89,0)	$p < 0,001$
Обхват ягодиц, см	88,0 (85,0–92,0)	90,0 (86,0–95,0)	89,0 (86,0–93,0)	95,0 (90,0–100,0)	$P_{1-2;2-4;3-4} < 0,001$ $P_{1-3} = 0,001$
ИМТ, кг/м ²	20,6 (19,3–22,2)	22,4 (20,2–25,1)	20,1 (18,9–22,3)	22,8 (20,4–25,5)	$P_{1-2;3-4} < 0,001$

исследования представлены на рисунке. У женщин-хакасок в старшей возрастной группе нормальные варианты ИМТ регистрировались чаще ($\chi^2 = 6,88$, $p = 0,009$), у европеоидов существенной разницы не выявлено ($\chi^2 = 0,86$, $p = 0,353$). У женщин юношеского возраста ДМТ отмечался чаще, чем у женщин старшего возраста, как у хакасок ($\chi^2 = 6,68$, $p = 0,01$), так и у европеоидов ($\chi^2 = 8,59$, $p = 0,003$). В старшей возрастной группе доля женщин с ИзМТ у хакасок снижалась ($\chi^2 = 1,14$, $p = 0,285$), а у европеоидов – увеличивалась ($\chi^2 = 1,62$, $p = 0,203$), хотя статистической значимости показателей не установлено. Разницы распределения по вариантам ИМТ в зависимости от этнической принадлежности не выявлено в обеих возрастных группах.

Нами рассчитаны медианы значений ИМТ во всех группах. Среди женщин юношеского возраста величины ИМТ составили у хакасок – 20,6 (19,3–22,2) кг/м², у европеоидов – 20,1 (18,9–22,3) кг/м²; среди женщин первого периода зрелого возраста соответственно 22,4 (20,2–25,1) и 22,8 (20,4–25,5) кг/м². Значения ИМТ с возрастом увеличивались как у хакасок ($p < 0,001$), так и у европеоидов ($p < 0,001$), но статистически значимых различий индекса в зависимости от этнической принадлежности не выявлено.

Своевременная диагностика характера распределения жировой ткани с помощью современных методов исследования является достаточно важной для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Исследование толщины жировых складок на плече спереди, плече сзади, предплечье, спине, грудной клетке, животе, бедре и голени позволило определить уровень содержания жировой массы в организме и топографию её распределения.

Проанализированы значения показателей абсолютного и относительного содержания жировой массы в организме обследованных женщин. Абсолютное содержание жировой массы у европеоидов выше, чем у женщин коренного населения. В юношеском возрасте медиана значений жировой массы составила у представительниц пришлого населения 11,9 (10,1–15,4) кг, у женщин-хакасок – 11,8 (9,6–13,8) кг ($p = 0,05$). У женщин первого периода зрелого возраста отмечена аналогичная ситуация: абсолютное количество жировой массы у представительниц пришлого населения было 14,5 (10,8–20,2) кг, у хакасок – 13,5 (10,4–17,7) кг ($p = 0,03$). Относительное содержание жирового компонента не имело этнических различий как в юношеском (у хакасок 23,0 (19,3–25,9) % и европеоидов 22,2 (19,2–26,1) %), так и в первом периоде зрелого возраста (25,1 (20,5–30,1) % и



Распределение женщин согласно ИМТ

Таблица 2

Показатели толщины жировых складок женщин, Ме (Q1–Q3)

Толщина жировых складок, мм	Группа женщин				Статистическая значимость различий
	1 n=405	2 n=379	3 n=378	4 n=222	
Плечо спереди	6,4 (5,5–7,7)	6,2 (4,6–8,7)	6,2 (5,1–8,1)	7,4 (5,1–9,8)	$p_{2,4} < 0,001$ $p_{3,4} = 0,007$
Плечо сзади	17,0 (13,1–19,3)	15,9 (11,8–20,9)	15,4 (13,2–19,0)	17,2 (13,4–21,8)	$p_{2,4} = 0,05$ $p_{3,4} = 0,001$
Предплечье	8,3 (6,6–10,1)	7,6 (5,7–10,6)	8,0 (6,4–10,0)	8,8 (6,3–12,1)	$p_{1,2} = 0,008$ $p_{2,4} < 0,001$; $p_{3,4} = 0,009$
Спина	13,3 (10,6–16,1)	18,4 (14,3–25,7)	12,3 (10,1–16,7)	16,7 (11,2–21,5)	$p_{1,2; 2,4; 3,4} < 0,001$
Грудная клетка	10,0 (7,7–12,4)	12,9 (9,6–18,6)	9,3 (7,3–12,7)	11,4 (8,3–15,8)	$p_{1,2; 2,4} < 0,001$ $p_{3,4} = 0,001$
Живот	20,4 (16,1–25,8)	21,2 (15,3–29,8)	19,2 (15,2–24,7)	20,5 (15,2–28,5)	$p_{3,4} = 0,039$
Бедро	9,4 (8,2–11,0)	12,4 (9,8–15,3)	10,2 (8,7–12,2)	12,3 (9,9–16,3)	$p_{1,2; 1,3; 3,4} < 0,001$
Голень	10,3 (8,2–13,1)	14,2 (11,1–18,8)	11,0 (8,3–14,3)	15,1 (11,7–20,2)	$p_{1,2; 3,4} < 0,001$ $p_{1,3} = 0,015$; $p_{2,4} = 0,007$

24,2 (19,8–29,7) % соответственно). Уровень абсолютного содержания жировой массы и доля жирового компонента в общей массе тела увеличивались с возрастом у всех обследованных женщин ($p < 0,001$).

Известно, что прогностическое значение в развитии метаболического синдрома имеет не только избыточная масса тела, содержание жирового компонента, но и топография распределения жировой ткани на различных участках тела. Мы проанализировали показатели толщины жировых складок у обследованных женщин, данные представлены в табл. 2.

Значения толщины всех жировых складок у обследованных женщин увеличивались с возрастом, причем разница значений показателей в большинстве случаев имеет статистическую значимость. Этнические различия выявлены в распределении толщины жировых складок на различных участках тела. В группе женщин юношеского возраста статистически значимая разница значений зарегистрирована для жировой складки на бедре и голени (больше у европеоидов; $p < 0,001$ ÷ $p = 0,015$). В группе женщин первого периода зрелого возраста у европеоидов толщина жировых складок большая на верхних и нижних конечностях ($p < 0,001$ ÷ $p = 0,026$). У хакасов жировые складки в большей степени выражены на туловище (на спине – $p < 0,001$; груди – $p = 0,001$; животе – незначимо), что характерно для метаболического синдрома.

Обсуждение результатов

Изучение соматометрических показателей у женского населения Республики Хакасия, относящихся к двум возрастным периодам, позволило выявить возрастные и этнические особенности: длина и масса тела, обхваты грудной клетки и ягодиц были больше у представителей пришлого населения, чем у коренного. В первом периоде зрелого возраста длина тела женщин-хакасок меньше, чем у лиц юношеского возраста, а у европеоидов оставалась на прежнем уровне. Возможно, это связано с продолжением ак-

селерации среди представителей хакасского этноса и замедлением её темпов у европеоидов.

Значения ИМТ увеличивались с возрастом, но этнических различий не выявлено. Распределение вариантов ИМТ имело этнические особенности: среди женщин-хакасок в первом периоде зрелого возраста наблюдалось больше лиц с нормальными вариантами ИМТ и меньше представителей, имеющих ДМТ и ИзМТ; среди женщин-европеоидов доля лиц с нормальными вариантами ИМТ оставалась на прежнем уровне, с ДМТ снижалась, а с ИзМТ – увеличивалась.

Значения абсолютной и относительной жировой массы увеличивались с возрастом в обеих этнических группах, при этом абсолютное количество жировой массы было больше у европеоидов, а доля относительной жировой массы не различалась. Результатами ряда исследований показано, что этнические различия состава тела, обусловленные в том числе и национальными пищевыми стереотипами, проявляются не только в степени развития жирового компонента, но и в топографии его распределения. Выделены три варианта распределения подкожной жировой клетчатки, соответствующие трём экологическим типам: субарктическому, континентальному и умеренному. Для субарктического типа характерно равномерное развитие жира на туловище и недостаточное на конечностях. У представителей умеренного типа жировая клетчатка также лучше выражена на туловище, однако расположена в большей степени ниже пупка. Континентальный тип характеризуется более высокими значениями жировых складок на конечностях [3, 9]. Нами выявлены этнические различия в характере распределения жировой ткани: в юношеском возрасте различия толщины жировых складок минимальные на верхних конечностях и туловище, а на нижних конечностях – значительно выше у европеоидов. В первом периоде зрелого возраста толщина жировых складок преобладала у женщин-хакасок на туловище, а у европеоидов – на верхних и нижних конечно-

стях. Данный тип распределения жировоголожения у женщин-хакасок относится к субарктическому типу, у европеоидов — к континентальному. Преобладание жировоголожения на туловище и животе, висцеральный тип ожирения увеличивают риск значительных, часто необратимых структурных изменений сердечно-сосудистой системы. Учитывая, что у хакасов даже при минимальной степени абдоминального ожирения отмечается выраженное изменение сосудов [8], данные нашего исследования могут быть использованы при разработке персонализированного подхода к диагностике и профилактике метаболического синдрома у коренных жителей Хакасии.

Таким образом, выявлены возрастные и этнические особенности соматометрических показателей: у женщин-хакасок в первом периоде зрелого возраста отмечены меньшая длина тела и большие значения массы тела, ИМТ, объемы грудной клетки и ягодиц; у европеоидов юношеского и первого периода зрелого возраста длина тела не различалась, а масса тела, ИМТ, объемы грудной клетки и ягодиц увеличивались с возрастом. У европеоидов все изученные показатели были больше, чем у хакасок. У женщин первого периода зрелого возраста значения абсолютной и относительной жировой массы более высокие и не имели этнических различий. Толщина жировых складок во всех отделах тела выше у женщин первого периода зрелого возраста, но распределение жировоголожения у европеоидов преобладало на нижних и верхних конечностях, а у хакасок — на туловище.

Авторство

Гладкая В. С. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Грицинская В. Л. участвовала в анализе данных, подготовила первый вариант статьи.

Гладкая Валентина Сергеевна — ORCID 0000-0002-9727-9591; SPIN 2301-3947

Грицинская Вера Львовна — ORCID 0000-0002-8290-8674; SPIN 7966-9470

Список литературы

1. Белоцерковцева Л. Д., Коваленко Л. В., Корнеева Е. В. Жировая ткань и её роль в развитии метаболического синдрома у женщин // Вестник СурГУ. Медицина. 2011. № 1 (7). С. 11–27.
2. Василькова Т. Н., Баклаева Т. Б., Матаев С. И., Рыбина Ю. А. Влияние различных типов жировоголожения на состояние сердечно-сосудистой системы // Сердце: журнал для практикующих врачей. 2014. Т. 13. № 1 (75). С. 45–435.
3. Козлов А. И., Вершубская Г. Г. Морфофункциональные характеристики представителей популяций Урала и Сибири, относящихся к различным этносам // Горизонты антропологии: тр. науч. конф. памяти акад. В. П. Алексеева. М., 2003. С. 499–503.
4. Лутов Ю. В., Васильева О. В., Новикова Е. Г., Селятицкая В. Г. Взаимосвязь метаболического синдрома и

его компонентов с инсулинорезистентностью и дисфункцией висцеральной жировой ткани у мужчин // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 3. С. 48.

5. Русакова Д. С., Щербакова М. Ю., Гаппарова К. М., Зайнудинов З. М., Качёв С. И., Сахаровская В. Г. Современные методы оценки состава тела // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012. № 8. С. 71–81.

6. Тутельян В. А., Разумов А. Н., Ключкова С. В., Алексеева Н. Т., Рожкова Е. А., Кварацхелия А. Г., Никитюк Д. Б. Особенности макроантропометрических показателей у женщин разных соматотипов // Морфологические ведомости. 2017. № 1 (25). С. 20–22.

7. Урясьев О. М., Горбунов Д. Ю., Щербакова О. Н., Пыко А. А. Метаболический синдром — нерешённая проблема медицины и современного общества // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2017. Т. 16. № 1. С. 160–164.

8. Ханарин Н. В., Килина О. Ю., Иванова С. Н., Россова Н. А., Чудинова О. В. Обоснование персонализированного подхода к диагностике, профилактике и лечению метаболического синдрома среди жителей Хакасии // Вестник новых медицинских технологий. 2014. № 1. С. 8.

9. Чанчаева Е. А., Айзман Р. И. Особенности морфофункциональной, психофизиологической и биохимической адаптации человека к условиям Горного Алтая // Экология человека. 2011. № 9. С. 24–30.

10. Barton J. C., Adams P. C., Acton R. T. Risk factors for insulin resistance, metabolic syndrome, and diabetes in 248 HFE C282Y Homozygotes identified by population screening in the HEIRS Study // Metab. Syndr. Relat. Disord. 2016. Vol. 14, N 2. P. 94–101.

11. Matiegka J. The testing of physical efficiency // J. Phys. Anthropol. 1921. Vol. 4, N 3. P. 223–230.

12. Nguyen Q. M., Xu J. H., Chen W. et al. Correlates of age-onset of type 2 diabetes among relatively young black and white adults in a community: the Bogalusa Heart Study // Diabetes Care. 2012. Vol. 35. P. 1341–1346.

13. Ruan H., Dong L. Q. Adiponectin signaling and function in insulin target tissues // J. Mol. Cell. Biol. 2016. Vol. 8, N 2. P. 101–109.

14. WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. Geneva, 2000. 253 p.

References

1. Belotserkovtseva L. D., Kovalenko L. V., Korneeva E. V. Adipose tissue and its role in the development of metabolic syndrome in women. *Vestnik SurGU. Meditsina* [Bulletin of the Surgut State University. Medicine]. 2011, 1 (7), pp. 11–27. [In Russian]
2. Vasil'kova T. N., Baklaeva T. B., Mataev S. I., Rybina Yu. A. Influence of different types of fat loss on the state of the cardiovascular system. *Serdtshe: zhurnal dlya praktikuyushchikh vrachei* [Heart: Journal for Practitioners]. 2014, 13, 1 (75), pp. 45–435. [In Russian]
3. Kozlov A. I., Verhubskaya G. G. Morfofunktsional'nye harakteristiki predstaviteley populyatsii Urala i Sibiri, otnosyashchihsy k razlichnym etnosam [Morphofunctional characteristics of representatives of populations of the Urals and Siberia, belonging to different ethnoses. In: *Gorizonty antropologii: tr. nauch. konf. pamyati akad. V. P. Alekseeva* [Horizons of Anthropology. Proceedings of Scientific Conference of memory of acad. V. P. Alekseeva]. Moscow, 2003, pp. 499–503.
4. Lutov Yu. V., Vasilieva O. V., Novikova E. G., Selyatitskaya V. G. Interrelation of metabolic syndrome and

its components with insulin resistance and dysfunction of visceral adipose tissue in men. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2017, 3, p. 48.

5. Rusakova D. S., Shcherbakova M. Yu., Gapparova K. M., Zainudinov Z. M., Tkachyov S. I., Saharovskaya V. G. Modern Methods for Evaluating Body Composition. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* [Experimental and Clinical Gastroenterology]. 2012, 8, pp. 71-81. [In Russian]

6. Tutelyan V. A., Razumov A. N., Klochkova S. V., Alekseeva N. T., Rozhkova E. A., Kvaratsheliya A. G., Nikityuk D. B. Peculiarities of macroanthropometric indices in women of different somatotypes. *Morfologicheskie vedomosti* [Morphological records]. 2017, 1 (25), pp. 20-22. [In Russian]

7. Uryasiev O. M., Gorbunov D. Yu., Shcherbakova O. N., Pyko A. A. Metabolic syndrome - the unresolved problem of medicine and modern society. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoj meditsinskoi akademii* [Bulletin of the Smolensk State Medical Academy]. 2017, 16, 1, pp. 160-164. [In Russian]

8. Hanarin N. V., Kilina O. Yu., Ivanova S. N., Rossova N. A., Chudinova O. V. The substantiation of the personified approach to diagnostics, prevention and treatment of the metabolic syndrome among the inhabitants of Khakassia. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of New Medical Technologies]. 2014, 1, pp. 8. [In Russian]

9. Chanchaeva E. A., Aizman R. I. Features morphofunctional, psychophysiological and biochemical adaptation of man to the

conditions of the Mountainous Altai. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 9, pp. 24-30. [In Russian]

10. Barton J. C., Adams P. C., Acton R. T. Risk factors for insulin resistance, metabolic syndrome, and diabetes in 248 HFE C282Y Homozygotes identified by population screening in the HEIRS Study. *Metab. Syndr. Relat. Disord.* 2016, 14 (2), pp. 94-101.

11. Matiegka J. The testing of physical efficiency. *J. Phys. Anthropol.* 1921, 4 (3), pp. 223-230.

12. Nguyen Q. M., Xu J. H., Chen W. et al. Correlates of age-onset of type 2 diabetes among relatively young black and white adults in a community: the Bogalusa Heart Study. *Diabetes Care.* 2012, 35, pp. 1341-1346.

13. Ruan H., Dong L.Q. Adiponectin signaling and function in insulin target tissues. *J. Mol. Cell. Biol.* 2016, 8 (2), pp. 101-109.

14. WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. Geneva, 2000, 253 p.

Контактная информация:

Гладкая Валентина Сергеевна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры педиатрии, акушерства и гинекологии ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова» Министерства образования и науки Российской Федерации

Адрес: 655017, Республика Хакасия, г. Абакан, пр. Ленина, д. 92, стр. 1

E-mail: VGlادkaya@mail.ru

МЕДИЦИНСКАЯ НАУКА В КАЗАХСТАНЕ: АНАЛИЗ ВОСПРИЯТИЯ СИТУАЦИИ НАУЧНЫМИ СОТРУДНИКАМИ, МЕНЕДЖЕРАМИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКИМИ ВРАЧАМИ

© 2019 г. ¹А. К. Изекенова, ¹М. А. Рамазанова, ²Е. Л. Степкина, ¹С. М. Зикриярова, ¹Ж. А. Кожекенова, ¹Г. Е. Аимбетова, ³Е. К. Бекботаев, ¹А. Б. Кумар, ⁴А. К. Изекенова, ⁵С. Б. Калмаханов, ⁵⁻⁸А. М. Гржибовский

¹Казахский национальный медицинский университет им. С. Д. Асфендиярова, г. Алматы, Казахстан; ²Национальный центр экспертизы ЛС, ИМН и МТ МЗ РК, г. Алматы, Казахстан; ³Высшая школа общественного здравоохранения, г. Алматы, Казахстан; ⁴Евразийский технологический университет, г. Алматы, Казахстан; ⁵Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан; ⁶Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск, Россия; ⁷Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, Россия; ⁸Западно-Казахстанский медицинский университет им. Марата Оспанова, г. Актобе, Казахстан

Состояние науки в области здравоохранения в республиках бывшего СССР в международном обзоре 2008 года было признано катастрофическим. В Казахстане в последнее десятилетие предпринимается серия попыток войти в международное медицинское научное и образовательное сообщество. *Целью* данного исследования является изучение восприятия научными сотрудниками, менеджерами здравоохранения и практикующими врачами настоящего состояния науки в области здравоохранения в Казахстане. *Методы.* Было проведено поперечное исследование в форме интервью в трех научно-исследовательских институтах, трех научных центрах и двух клиниках г. Алматы – признанного центра медицинской науки республики. В исследовании приняло участие 207 человек (отклик 99 %). Научные сотрудники, менеджеры здравоохранения и практикующие врачи составили 63,8, 16,4 и 19,9 % выборки соответственно. Категориальные данные анализировали с помощью критерия хи-квадрат Пирсона и точного критерия Фишера. *Результаты.* Несмотря на то, что у 38 % респондентов были высшие ученые степени, менее 1 % из них имели международные публикации. Оценили прозрачность финансирования научных исследований как неудовлетворительную 75,8 % исследователей по сравнению с менеджерами (20,6 %) и врачами (41,5 %) ($p < 0,001$). Отмечалась также значительная вариабельность между группами относительно соответствия тем проводимых в стране исследований нуждам социально незащищенных групп ($p < 0,001$). Научные сотрудники в большей мере считали возможности карьерного развития в науке неудовлетворительными (33,3 %), чем менеджеры (11,8 %) и врачи (29,3 %, $p = 0,025$). *Выводы:* оценка респондентами настоящего состояния научных исследований в области здравоохранения в Казахстане вызывает озабоченность в свете качества ученых степеней и диссертационных работ, защищенных без международных публикаций в Web of Science / Scopus, прозрачности финансирования, соответствия тем научных исследований реальным нуждам здравоохранения страны, а также существующим возможностям диссеминации и практического внедрения результатов научных исследований.

Ключевые слова: Казахстан, медицинские научные исследования, восприятие, поперечное исследование, менеджеры здравоохранения, научные сотрудники, практикующие врачи

MEDICAL RESEARCH IN KAZAKHSTAN AS PERCEIVED BY RESEARCHERS, HEALTH MANAGERS AND PRACTICING PHYSICIANS

¹A. K. Izenkova, ¹M. A. Ramazanova, ²Y. L. Stepkina, ¹S. M. Zikriyarova, ¹Z. A. Kozhekenova, ¹G. E. Aimbetova, ³Y. K. Bekbotayev, ¹A. B. Kumar, ⁴A. K. Izenkova, ⁵S. B. Kalmahanov, ⁵⁻⁸A. M. Grjibovski

¹Kazakh National Medical University, Almaty, Kazakhstan; ²National center for Expertise of Medicines Medical devices and Medical equipment, Almaty, Kazakhstan; ³Graduate School of Public Health, Almaty, Kazakhstan; ⁴Eurasian University of Technology, Almaty, Kazakhstan; ⁵Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; ⁶Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia; ⁷North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia; ⁸West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, Aktobe, Kazakhstan

The state of health research in the countries of the Commonwealth of Independent States has been called as drastic in a recent evaluation. Several efforts have been made to break isolation of Kazakhstan from international medical research, education and practice. We studied how researchers, health managers and practicing physicians perceive the current status of medical research in Kazakhstan. *Methods:* A cross-sectional study was performed at 3 research institutes, 3 research centers and 2 clinics in Almaty, the former capital of Kazakhstan. Altogether, 207 (99 %) employees involved in research participated and were interviewed by the first author. Researchers, health managers and physicians comprised 63.8 %, 16.4 % and 19.8 % of the sample. Categorical data were analyzed using chi-squared and Fisher's exact tests. *Results:* Although 38 % of the participants had the highest research degrees, less than 1% of the sample had international publications. More than three thirds of researchers reported unsatisfactory transparency of financing research compared to

health managers and physicians ($p < 0.001$). Considerable variability between the groups was observed in the perception of the agreement between the research conducted and health needs of the vulnerable groups ($p < 0.001$). Researchers were more likely to report unsatisfactory career opportunities in research than other studied groups ($p = 0.025$). *Conclusions:* The perception of our responders of the current state of health research in Kazakhstan raise concerns about the quality of doctoral degrees without international publications, transparency of funding and agreement between the research conducted and real health needs in the country and existing conditions for disseminating and implementation of the results of health research in practice.

Key words: Kazakhstan, medical research, perception, survey, health managers, researchers, physicians, publication

Библиографическая ссылка:

Изекенова А. К., Рамазанова М. А., Степкина Е. Л., Зикриярова С. М., Кожекенова Ж. А., Аимбетова Г. Е., Бекботаев Е. К., Кумар А. Б., Изекенова А. К., Калмаханов С. Б., Гржибовский А. М. Медицинская наука в Казахстане: анализ восприятия ситуации научными сотрудниками, менеджерами здравоохранения и практическими врачами // Экология человека. 2019. № 4. С. 54–59.

Izekenova A. K., Ramazanova M. A., Stepkina Y. L., Zikriyarova S. M., Kozhekenova Z. A., Aimbetova G. E., Bekbotayev Y. K., Kumar A. B., Izekenova A. K., Kalmahanov S. B., Grjibovski A. M. Medical Research in Kazakhstan as Perceived by Researchers, Health Managers and Practicing Physicians. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 54-59.

В международном обзоре, опубликованном в 2008 году, состояние науки в области здравоохранения в странах СНГ было признано катастрофическим [8]. Недостаточно быстрое развитие в области научной методологии, низкая валидность исследований, недостаточно качественное рецензирование в медицинских журналах, а также недостаточный опыт редакторов были названы в качестве типичных черт медицинской науки на постсоветском пространстве [8]. Оценивая состояние эпидемиологии в России в 1990-е годы, В. В. Власов отмечал, что она находится в «архаичном состоянии» и занимается в основном изучением инфекционных заболеваний. Кроме того, отмечалось, что в русскоязычных публикациях исследователи намного чаще использовали простейшие дизайны исследований и методы статистической обработки данных, чем их коллеги, публикующиеся в англоязычных изданиях [7]. Публикации конца 2000-х годов свидетельствуют о том, что за первое десятилетие XXI века мало что изменилось [2, 3]. Во втором десятилетии намечались положительные тенденции, реализовавшиеся в увеличении доли российских публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science, а также в количестве российских журналов, индексируемых в Scopus, однако вклад медицинской науки в это развитие невелик.

Казахстан унаследовал советскую систему медицинского образования и науки, характеризующуюся разделением медицинской науки и медицинского образования, при которой основные научные исследования в основном проводились в научно-исследовательских институтах, не занимающихся образовательной деятельностью. На момент подготовки статьи в Казахстане существует 20 научных организаций и 6 университетов активно занимаются исследованиями в области здравоохранения. Среди научных организаций 14 имеют статус научных центров, а 6 зарегистрированы как научно-исследовательские институты. Оказывают медицинские услуги населению 16 из 20 научных организаций.

Несмотря на то, что качество российских публикаций в области здравоохранения неоднократно критиковалось в международных печатных изданиях, Россия занимает 13 место в мире по данным Scimago Journal &

Country Rank, в то время как Казахстан только 76 за период 1996–2017 годов [6]. Тем не менее эти места обусловлены достижениями в других областях науки, так как в рубрике «Медицина» наши страны в том же рейтинге занимают 27 и 115 места [6].

В настоящее время ни один из казахстанских медицинских журналов не индексируется в международных наукометрических базах данных Web of Science или Scopus. Кроме того, нам удалось обнаружить только одну работу, представляющую оценку качества научных публикаций в Казахстане, хотя такие оценки регулярно проводятся в зарубежных печатных изданиях [1]. Доля статей казахстанских авторов в международных журналах по-прежнему мала, причем большинство из таких публикаций выполнено в соавторстве с зарубежными учеными.

В то же время Казахстан является быстроразвивающимся государством с целью войти в топ-30 стран по индексу развития человеческого потенциала к 2050 году. Важная роль в этом процессе отводится диверсификации экономики и инвестициям в научный потенциал страны [9]. В последние годы отмечается существенное увеличение финансирования медицинского образования и науки. Новый закон «О науке» от 18 февраля 2011 года ставит целью улучшение качества научных исследований и увеличение конкурентоспособности науки и практики на международном рынке. С 2008 года в стране действует одноступенчатая система научных степеней с присуждением степени доктора философии (PhD), важной составляющей которой является требование наличия опубликованных статей в международных рецензируемых журналах, индексируемых к Web of Science или Scopus.

Однако, несмотря на все нововведения по интеграции Казахстана в международное научное сообщество, нет опубликованных исследований о том, как научные сотрудники, менеджеры здравоохранения и практикующие врачи оценивают настоящее состояние науки в области здравоохранения в стране.

Целью данного исследования является изучение восприятия научными сотрудниками, менеджерами здравоохранения и практикующими врачами настоящего состояния науки в области здравоохранения в Казахстане.

Методы

Нами было проведено поперечное исследование в трех научно-исследовательских институтах (НИИ глазных болезней, НИИ кардиологии и внутренних болезней и НИИ дерматовенерологии), трех научных центрах (Научный центр педиатрии и детской хирургии, Научный центр хирургии и Научный центр урологии) и двух случайно отобранных лечебно-профилактических учреждениях (городская больница № 7 и городская поликлиника № 8) в г. Алматы.

Все 209 человек, активно вовлеченные в научный процесс в вышеперечисленных организациях, были приглашены для участия в исследовании и 207 из них (отклик 99 %) согласились. Данные собирались с помощью интервью, проводимого первым автором. Для цели данного исследования использовались только социально-демографические характеристики респондентов и их оценка состояния науки в области здравоохранения в Казахстане. В первую группу вошли научные сотрудники (n = 132, или 63,8 %), во вторую – менеджеры здравоохранения (n = 34, или 16,4 %), в третью – практикующие врачи (n = 41, или 19,8 %). Несмотря на то, что исследователи были включены только в первую группу, представители второй и третьей групп также активно занимались научными исследованиями, но не в рамках основных должностных обязанностей. По возрасту респонденты были разделены на следующие группы: до 30 лет, 30–39 лет, 40–49 лет, 50–59 лет и 60 лет и старше. Все имели высшее образование. По наивысшей степени участники исследования классифицировались как бакалавры, магистры, доктора PhD, кандидаты медицинских наук, доктора медицинских наук и лица без научных степеней. Обучение на курсах дополнительного профессионального образования включалось в виде дихотомической переменной. Наличие или отсутствие публикаций в Web of Science / Scopus также представлялось в виде бинарной переменной (табл. 1).

Шесть вопросов было задано о восприятии ситуации с наукой в здравоохранении в Казахстане. Все вопросы сформулированы в табл. 2. Также респонденты отвечали на вопросы об условиях проведения исследований в Казахстане в последние 5 лет, а также условия для диссеминации и практического внедрения результатов научных исследований (табл. 3). Варианты ответов варьировали от 1 до 5 (1 – наилучший балл). Данные представляли отдельно для научных сотрудников, менеджеров здравоохранения и практикующих врачей. Анализ категориальных данных проводили с помощью критерия хи-квадрат Пирсона и точного критерия Фишера (в случаях, когда ожидаемые числа в четырехпольных таблицах были менее 5). В случае малых ожидаемых чисел в многопольных таблицах применяли критерий хи-квадрат с процедурой Монте-Карло. Статистический анализ проводили с помощью программного пакета SPSS, v.20.0 (SPSS Inc., Chicago IL, USA).

Результаты

Выборочную совокупность составили 132 женщины (63,8 %) и 75 мужчин (26,2 %). Доля женщин среди исследователей и практикующих врачей была выше, чем доля мужчин, в то время как среди менеджеров преобладали мужчины (p < 0,001). Практикующие врачи были моложе, чем исследователи и менеджеры (p < 0,001). Большинство исследователей имели степени кандидата и доктора медицинских наук, в то время как большинство врачей ученых степеней не имели. Более половины менеджеров имели наивысшие ученые степени (либо доктор наук, либо PhD, в сумме – 52,9 %), в то время как среди исследователей эта доля была только 41,7 %. Большинство менеджеров и исследователей обучались на курсах дополнительного профессионального образования, в то время как среди врачей эта доля была значимо ниже (p = 0,003). Интересно, что менее 1 % от выборки имели публикации в изданиях, индексированных в базах данных Web of Knowledge или Scopus (табл. 1).

Таблица 1
Социально-демографические характеристики исследователей, менеджеров здравоохранения и практикующих врачей, г. Алматы, Казахстан

Характеристика	Исследователи n (%)	Менеджеры здравоохранения n (%)	Практикующие врачи n (%)	P ^a
Пол				<0,001 ^a
Мужской	40 (30,3)	26 (76,5)	9 (22,0)	
Женский	92 (69,7)	8 (23,5)	32 (78,0)	
Возраст, лет				<0,001 ^a
<30	7 (5,3)	0 (0)	8 (19,5)	
30–39	20 (15,2)	3 (8,8)	13 (31,7)	
40–49	48 (36,4)	10 (29,4)	10 (24,4)	
50–59	43 (32,6)	14 (41,2)	7 (17,1)	
60+	14 (10,6)	7 (20,6)	3 (7,3)	
Образование				<0,001 ^a
Кандидат наук	49 (37,1)	4 (11,8)	5 (12,2)	
Доктор наук	35 (26,5)	13 (38,2)	3 (7,3)	
Бакалавр	7 (5,3)	0 (0)	8 (19,5)	
Магистр	21 (15,9)	4 (11,8)	5 (12,2)	
Доктор PhD	20 (15,2)	5 (14,7)	3 (7,3)	
Специалитет	0 (0)	8 (23,5)	3 (41,5)	
Курсы ДПО				0,003 ^b
Да	125 (94,7)	34 (100)	33 (80,5)	
Нет	7 (5,3)	0 (0)	8 (19,5)	
Публикации в Scopus / Web of Science				1,000 ^b
Есть	2 (1,5)	0 (0)	0 (0)	
Нет	130 (98,5)	34 (100)	41 (100)	
Итого	132 (100)	34 (100)	41 (100)	

Примечание. Рассчитано: ^a – с помощью критерия хи-квадрат Пирсона с процедурой Монте-Карло для 10 000 выборок; ^b – с помощью точного критерия Фишера.

В ходе предварительного анализа установлено, что единичные участники выбирали крайние категории ответов, поэтому группы были укрупнены. После перекодировки анализировались четыре варианта ответа на каждый вопрос: «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» и «не знаю», как представлено в табл. 2 и 3. По причине малого количества участников с ответами «не знаю», уровни значимости рассчитывали после исключения этой категории из анализа.

Более половины респондентов оценивают общие условия для проведения исследований как хорошие или удовлетворительные без статистически значимых различий между группами ($p = 0,906$). Однако более трех четвертей научных сотрудников считают, что финансирование исследований в области здравоохранения не является прозрачным, в то время как большинство менеджеров и практикующих врачей расценивают степень прозрачности финансирования науки как хорошую или удовлетворительную ($p < 0,001$). Группы не различались по оценке соответствия

тем исследований и национальных приоритетов в области здравоохранения ($p = 0,411$), причем около трети менеджеров и почти одна пятая респондентов из других групп считают соответствие неудовлетворительным. Интересно, что только 5,9 % менеджеров считали неудовлетворительным соответствие между темами проводимых научных исследований и нуждами социально незащищенных групп, в то время как эта доля среди практических врачей была в 5 раз выше ($p < 0,001$). Доля исследователей, оценивших свою зарплату как хорошую, была всего 7,6 %, в то время как зарплату исследователей сочли хорошей четверть менеджеров здравоохранения. В то же время 59,1 % исследователей считали свои доходы неудовлетворительными. Большинство респондентов во всех группах считали возможности для карьеры в науке как минимум удовлетворительными, но доля тех, кто считал эти возможности неудовлетворительными, была наивысшей как раз среди научных сотрудников ($p = 0,025$). Более детальная информация о распределении ответов представлена в табл. 2.

Таблица 2

Мнения исследователей, менеджеров здравоохранения и практикующих врачей о состоянии медицинской науки в Казахстане

Оценка	Исследователи n (%)	Менеджеры здравоохранения n (%)	Практикующие врачи n (%)	P^a
Я оцениваю общие условия для проведения научных исследований на моем рабочем месте как:				0,906
Хорошие	44 (33,3)	9 (26,5)	13 (31,7)	
Удовлетворительные	73 (55,3)	22 (64,7)	24 (58,5)	
Неудовлетворительные	15 (11,4)	3(8,8)	4 (9,8)	
Я оцениваю прозрачность, своевременность поступления средств и равные возможности их получения для медицинской науки как				<0,001 ^b
Хорошие	8 (6,1)	10 (29,4)	11 (26,8)	
Удовлетворительные	23 (17,4)	17 (50,0)	13 (31,7)	
Неудовлетворительные	100 (75,8)	7 (20,6)	17 (41,5)	
Не знаю	1 (0,8)	0 (0)	0 (0)	
Я оцениваю соответствие тем проводимых исследований национальным приоритетам в области здравоохранения как:				0,411
Хорошее	46 (34,8)	7 (20,6)	13 (31,7)	
Удовлетворительное	63 (47,7)	17 (50,0)	21 (51,2)	
Неудовлетворительное	23 (17,4)	10 (29,4)	7 (17,1)	
Я оцениваю соответствие тем проводимых исследований актуальным проблемам социально незащищенных групп населения как:				<0,001
Хорошее	63 (47,7)	18 (52,9)	4 (9,8)	
Удовлетворительное	44 (33,3)	14 (41,2)	26 (63,4)	
Неудовлетворительное	25 (18,9)	2 (5,9)	11 (26,8)	
Я оцениваю зарплату ученого как				0,063
Хорошую	10 (7,6)	8 (23,5)	4 (18,2)	
Удовлетворительную	44 (33,3)	12 (35,3)	11 (16,4)	
Неудовлетворительную	78 (59,1)	14 (41,2)	26 (63,4)	
Я оцениваю существующие условия для карьерного роста и развития в науке как:				0,025 ^b
Хорошие	44 (33,3)	9 (26,5)	15 (36,6)	
Удовлетворительные	44 (33,3)	21 (61,8)	13 (31,7)	
Неудовлетворительные	44 (33,3)	4 (11,8)	12 (29,3)	
Не знаю	0 (0)	0 (0)	1 (2,4)	

Примечание. Рассчитано: ^a – с помощью критерия хи-квадрат Пирсона; ^b – с помощью критерия хи-квадрат Пирсона после исключения категории «Не знаю».

Таблица 3

Мнения исследователей, менеджеров здравоохранения и практикующих врачей о состоянии медицинской науки в Казахстане за последние 5 лет

Оценка	Исследователи п (%)	Менеджеры здравоохранения п (%)	Практикующие врачи п (%)	P ^a
Я оцениваю условия для планирования и проведения научных исследований в области здравоохранения в Казахстане за последние 5 лет как:				0,442
Хорошие	25 (18,9)	9 (26,5)	6 (14,6)	
Удовлетворительные	64 (48,5)	14 (41,2)	24 (58,5)	
Неудовлетворительные	43 (32,6)	10 (29,4)	9 (22,0)	
Не знаю	0 (0,0)	1 (2,9)	2 (4,9)	
Я оцениваю условия для диссеминации и практического внедрения результатов научных исследований в области здравоохранения в Казахстане за последние 5 лет как:				0,008
Хорошие	11 (8,3)	3 (8,8)	8 (19,5)	
Удовлетворительные	96 (72,7)	21 (61,8)	17(41,5)	
Неудовлетворительные	25 (18,9)	9 (26,5)	16 (39,0)	
Не знаю	0 (0,0)	1 (2,9)	0 (0,0)	

Примечание. ^a – рассчитано с помощью критерия хи-квадрат Пирсона после исключения категории «Не знаю».

Группы не различались в оценке восприятия условий для планирования и проведения научных исследований в течение последних 5 лет, хотя доля оценивающих эти условия как хорошие была наивысшей среди научных сотрудников ($p = 0,442$). В то же время практические врачи чаще, чем менеджеры и исследователи, отмечали неудовлетворительные условия для диссеминации и практического использования результатов научных (табл. 3, $p = 0,008$).

Обсуждение результатов

Оценка респондентами настоящего состояния научных исследований в области здравоохранения в Казахстане вызывает озабоченность в свете соответствия международным стандартам качества ученых степеней и диссертационных работ, защищенных без международных публикаций в Web of Science / Scopus, прозрачности финансирования, соответствия тем научных исследований реальным нуждам здравоохранения Казахстана, а также существующим возможностям диссеминации и практического внедрения результатов научных исследований. Учитывая, что структура научно-исследовательских институтов, научных центров и организация научной работы в республике не отличаются от таковых в г. Алматы, наши результаты могут быть экстраполированы на все научные учреждения Казахстана, за исключением, пожалуй, Назарбаев Университета [9].

В нашей выборке более двух третей научных сотрудников и более трех четвертей практикующих врачей составили женщины, в то время как более 75 % менеджеров здравоохранения были мужчины, что отражает типичный паттерн в странах Центральной Азии. Интересно, что наивысшая доля участников исследования с наивысшими учеными степенями была как раз среди менеджеров, что может свидетельствовать о том, что наличие степени является одним из условий для руководящей должности. Тот факт, что

большинство респондентов помимо основного образования получали также дополнительное, говорит о том, что в республике созданы хорошие условия для получения дополнительного образования. В то же время наличие международных публикаций менее чем у 1 % респондентов при том, что у 66,2 % были ученые степени, вероятно, говорит о том, что степени были получены еще до того, как были введены требования о наличии публикаций в Web of Science / Scopus для защиты диссертации. Малое число публикаций также может говорить о недостаточной подготовке казахстанских исследователей в области как научного письма, так и английского языка, так как требования к англоязычным статьям, как по стилю, так и по содержанию, существенно отличаются от национальных стандартов. Эта гипотеза соответствует результатам исследования Данишевского К. Д., говорящим о том, что менее 5 % российских врачей владеют английским языком на уровне, достаточном для чтения англоязычной профессиональной литературы [5]. Именно поэтому в некоторых казахстанских журналах [4] вводятся рубрики, в которых публикуются статьи по научной методологии и научному письму.

Несмотря на то, что большинство исследователей оценивают условия для проведения исследований минимум как удовлетворительные, тот факт, что более 75 % из них отмечают неудовлетворительную прозрачность, вызывает озабоченность, особенно в сочетании с тем, что большинство менеджеров здравоохранения придерживаются противоположного мнения. Данные результаты обуславливают необходимость более тесного диалога между донорами и получателями средств, а также разработку четких и понятных принципов распределения средств.

Также интересно, что наивысшая доля тех, кто отметил неудовлетворительное соответствие тем научных исследований нуждам социально незащищенных групп, были практикующие врачи, то есть те, кто

встречается с такими пациентами ежедневно. Данные результаты могут также говорить о том, что нет полного консенсуса в понимании нужд уязвимых групп.

Несмотря на то, что мы не обнаружили статистически значимых различий в оценке респондентами уровня заработной платы научных сотрудников, тот факт, что более половины из них отметили их неудовлетворительный уровень, может частично объяснить их скептицизм относительно прозрачности распределения средств на исследование. Ситуация нуждается в исправлении посредством предложения конкурентоспособных зарплат научным сотрудникам для привлечения в науку лучших. Также исследователи сами должны активнее участвовать в поиске средств в виде местных, национальных или международных грантов для проведения исследований с выходом в виде международных публикаций.

В заключение мы отмечаем, что крайне низкая доля исследователей с публикациями в ведущих международных печатных изданиях, высокая доля лиц, считающих неудовлетворительными прозрачность финансирования научных исследований, заработную плату исследователей, возможности для карьерного роста в науке и возможности для диссеминации и внедрения результатов исследований на практике, несмотря на увеличение финансирования науки, вызывают большую озабоченность. Результаты исследования обуславливают необходимость разработки мер по улучшению прозрачности финансирования науки и диссеминации результатов научных исследований, а также практического обучения казахстанских ученых в области подготовки научных публикаций для изданий, индексируемых в Web of Science и Scopus.

Авторство

Изекенова А. К. и Гржибовский А. М. планировали исследование. Все авторы, кроме Гржибовского А. М. и Қалмаханова С. Б., участвовали в сборе и компьютеризации данных. Изекенов А. К., Қалмаханов С. Б. и Гржибовский А. М. проводили статистический анализ данных и подготовили первый вариант рукописи. Все авторы представили критические комментарии, участвовали в доработке текста и одобрили заключительную версию рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Аканов А. А., Турдалиева Б. С., Изекенова Б. С., Рамазанова М. А., Абдраимова Е. Т., Гржибовский А. М. Оценка использования статистических методов в научных публикациях в казахстанских медицинских журналах // Экология человека. 2013. № 5. С. 61–64.
2. Гржибовский А. М. Использование статистики в российской биомедицинской литературе // Экология человека. 2018. № 12. С. 55–64.
3. Леонов В. П. Статистика в кардиологии. 15 лет спустя // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2014. № 1. С. 17–28.
4. Рахыпбеков Т. К., Гржибовский А. М. К вопросу о необходимости повышения качества казахстанских научных

публикаций для успешной интеграции в международное научное сообщество // Наука и здравоохранение 2015. № 1. С. 5–11.

5. Danishevskiy K. Maternal health care in Russia: understanding clinical practice in an information poor setting. PhD thesis. London: University of London, 2006.

6. SCImago Lab Journal and Country Rank: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?area=2700> (accessed 10 November 2018).

7. Vlassov V. V. Is there epidemiology in Russia? // J Epidemiol Community Health. 2000. Vol. 54. P. 740–744.

8. Vlassov V. V., Danishevskiy K. D. Biomedical journals and databases in Russia and Russian language in the former Soviet Union and beyond // BMC Public Health. 2008. Vol. 5. P. 15.

9. Zhumadilov A. Scientific excellence in biomedical research: new opportunities and challenges in Kazakhstan // Rejuvenation Res. 2012. Vol. 15. P. 249–251.

References

1. Akanov A. A., Turdalieva B. S., Izekenova A. K., Ramazanova M. A., Abdaimova E. T., Grjibovski A. M. Assessment of use of statistical methods in scientific articles of the Kazakhstani medical journal). *Ekologiya cheloveka* (Human Ecology). 2013, 5, pp. 61–64. [In Russian]
2. Grjibovski A. M. Use and misuse of statistics in Russian biomedical literatur. *Ekologiya cheloveka* (Human Ecology). 2008, 12, pp. 55–64. [In Russian]
3. Leonov V. P. Statistics in Cardiology 15 years later. *Meditinskie tekhnologii. Otsenka i vybor* [Medical technologies. Evaluation and Choice]. 2014, 1, pp. 17–28. [In Russian]
4. Rakhypbekov T. K., Grjibovski A. M. The need for improvement of the quality of Kazakhstani publications for successful integration in the international research community. *Nauka i zdavookhranenie* [Science & Healthcare]. 2015, 1, pp. 5–12. [In Russian]
5. Danishevskiy K. Maternal health care in Russia: understanding clinical practice in an information poor setting. *PhD thesis*. London, University of London, 2006.
6. SCImago Lab Journal and Country Rank: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?area=2700> (accessed 10 November 2018).
7. Vlassov V. V. Is there epidemiology in Russia? *J Epidemiol Community Health*. 2000, 54, pp. 740–744.
8. Vlassov V. V., Danishevskiy K. D. Biomedical journals and databases in Russia and Russian language in the former Soviet Union and beyond. *BMC Public Health*. 2008, 5, p. 15.
9. Zhumadilov A. Scientific excellence in biomedical research: new opportunities and challenges in Kazakhstan. *Rejuvenation Res*. 2012, 15. pp. 249–251.

Контактная информация:

Гржибовский Андрей Мечиславович — доктор медицины, заведующий ЦНИЛ СГМУ, г. Архангельск; профессор Северо-Восточного федерального университета, г. Якутск; визитинг-профессор Казахского национального университета им. аль-Фараби, г. Алматы и Западно-Казахстанского медицинского университета им. Марата Оспанова, г. Актобе, Казахстан.

Адрес: 163000, г. Архангельск, Троицкий проспект, д. 51
E-mail: Andrej.Grjibovski@gmail.com, Skype: Andrej.Grjibovski

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГРУППОВОЙ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОГО КОМФОРТА ПО ТЕОРИИ ФАНГЕРА ПРИМЕНИТЕЛЬНО КО МНОЖЕСТВУ ЛИЦ С РАЗНЫМИ ТРУДОВЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

© 2019 г. М. В. Гусейнова

Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджанская Республика

Статья посвящена исследованию возможности применения среднеинтегрированной оценки комфорта по теории Фангера применительно ко множеству лиц с разными трудовыми показателями. Задача исследования применимости уравнения Фангера ко множеству людей с различными трудовыми показателями возникает из-за предполагаемого экстремального характера среднеинтегральной величины прогнозируемой оценки теплового комфорта. Для указанной группы людей сформулирована оптимизационная задача поиска функции зависимости показателя метаболической генерации тепла от показателя работы человека, при которой среднеинтегральная оценка среднепрогнозируемой оценки теплового комфорта достигла бы экстремума. Решение оптимизационной задачи в двух постановках показало, что целевые функционалы в обоих случаях достигают минимума при наличии логарифмической зависимости между вышеуказанными показателями. С учетом того, что в основе концепции теплового комфорта Фангера заложена линейная зависимость между этими показателями, сделано заключение о возможности применения среднеинтегральной оценки для множества людей с разными трудовыми показателями с целью групповой оценки температурного комфорта.

Ключевые слова: тепловой комфорт, оптимизация, метаболическая генерация тепла, функционал, среднепрогнозируемая оценка

FEASIBILITY STUDY OF GROUP ESTIMATION OF THERMAL COMFORT USING FANGER'S THEORY APPLIED TO PEOPLE WITH DIFFERENT WORKING CAPABILITIES

M. V. Huseynova

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan Republic

The paper presents a possibility to use an averaged integrated estimation of thermal comfort using Fanger's theory applied to people with different working capabilities. Taking into account the fact that Fanger's concept of thermal comfort is based on linear association between parameters in was concluded that utilization of averaged integrated estimate for people with different working capabilities for group estimation of temperature comfort is possible.

Key words: thermal comfort, optimization, metabolic heat generation, functional, averaged predicted estimate.

Библиографическая ссылка:

Гусейнова М. В. Исследование возможности групповой оценки теплового комфорта по теории Фангера применительно ко множеству лиц с разными трудовыми показателями // Экология человека. 2019. № 4. С. 60–64.

Huseynova M. V. Feasibility Study of Group Estimation of Thermal Comfort Using Fanger's Theory Applied to People with Different Working Capabilities. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 60-64.

1. Введение

Как отмечается в [4, 10, 11, 28], температурный комфорт является, скорее всего, состоянием человеческих ощущений, а не результатом вычислений на основе уравнений тепломассопереноса и энергобаланса. Научное определение понятия температурного комфорта позволяет оптимизировать проектирование и подбор средств создания наилучшего микроклимата в помещениях и тем самым обеспечить наилучшие условия для жизнедеятельности людей [3, 7, 8, 14, 16, 17, 31].

Вместе с тем на ощущения температурного комфорта влияют многие факторы, которые должны быть учтены при разработке модели энергобаланса человека [25].

В 1972 году О. П. Фангер определил состояние общего температурного комфорта в качестве баланса материалов и энергии [26]. Указанная теория была закреплена в стандартах ISO 7730 и ASHRAE. Согласно [27] для определения комфортной температуры

в замкнутом помещении должны быть учтены такие показатели, как температура воздуха, средняя радиационная температура, скорость перемещения воздуха, относительная влажность. При этом согласно теории Фангера температурный комфорт базируется на таком понятии, как тепловой баланс человеческого тела. Баланс между выработанной энергией и энергетическими потерями человека наступает при температуре тела 37 °С, что отображается уравнением Фангера:

$$S - M \pm W \pm R \pm C \pm K - E - RES = 0 \quad (1)$$

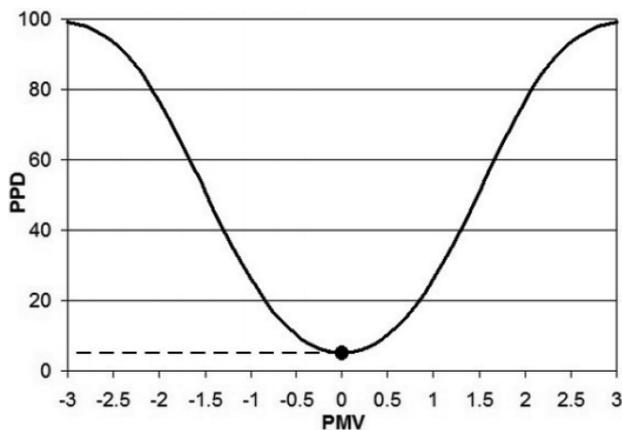
где: S – накопленное тепло; M – метаболизм; W – внешняя работа; R – теплообмен путем радиации; C – конвективный теплообмен; K – кондуктивный теплообмен; E – теплообмен за счет испарений; RES – теплообмен за счет респирации (дыхательной деятельности).

В модели PMV – PPD Фангера определяется взаимосвязь между двумя показателями микроклимата замкнутых помещений [24]:

1. PMV – усредненный предсказуемый показатель теплового комфорта.

2. PPD – предсказуемый процент неудовлетворенных лиц температурой в помещении.

При этом значения PMV изменяются в пределах (-3; 3); чем меньше PMV по абсолютной величине, тем сильнее ощущается чувство температурного комфорта, а PPD является функцией PMV, что графически отображено на рисунке.



Графики взаимосвязи показателей PMV и PPD [15]

Согласно работе [24], преимуществом Фангеровского метода PMV – PPD является то, что этот метод базируется на модели теплового баланса и учитывает значительное количество физических параметров замкнутого помещения, а также человеческой деятельности и свойств одежды по сравнению с адаптивными моделями. Вместе с тем модель PMV – PPD игнорирует такие факторы, как климат, социальная экономика, способность адаптации психологических свойств человека. Указанные факторы учитываются в адаптивной модели, однако адаптивные модели непригодны для помещений с механическими системами обогрева/охлаждения. Указанное обстоятельство подчеркивает важность разработки новых моделей микроклимата замкнутых помещений, учитывающих неучтенные ранее факторы жизнедеятельности [6, 12].

Согласно [22], модель PMV не позволяет предсказывать тепловые ощущения людей, находящихся внутри помещения, так как не учитывает комплексного взаимодействия человека с окружающей средой путем изменения своего поведения и способность человека постепенно адаптироваться, регулируя свои ожидания и предпочтения.

Экспериментальные исследования, проведенные в [19], показали отсутствие значительной корреляционной связи между такими показателями, как PMV и CSV (CSV – чувство состояния, комфорта). Данный факт указывает на то, что PMV не отображает чувства теплового комфорта человека адекватным образом. Указывается важность осуществления контроля влажности для определения состояния температурного комфорта. Согласно [13], в результате проведенных экспериментальных исследований было обнаружено,

что работники, находящиеся в замкнутом помещении, имеющем естественную вентиляцию, отличаются способностью адаптировать свою комфортную температуру к условиям внешней среды и склонны принять за комфортную температуру то значение, которое ниже, чем это предсказывает модель PMV.

Согласно PMV [32], модель PMV дает повышенные оценки показателя комфортной температуры на величину 0,296. Причиной тому, согласно [32], является психологическая адаптация людей, их способность умерить температурную чувствительность своей кожи. Указанный факт позволяет повысить верхний предел температуры эффективного температурного комфорта на 1,6 °С, что, в свою очередь, может привести к существенной экономии электроэнергии в летнее время. Как отмечается в [18], экспериментальные исследования, проведенные в Венгрии, показали наличие существенной разницы между фактическим показателем комфортной температуры (AMV) и показателем PMV в зимнее время, равной 0,275. В работе [20] рассмотрен вопрос о персонализации модели температурного комфорта, имея в виду различие у людей значения таких факторов, как метаболическая активность и индекс одежды. Применен математический аппарат нечеткой логики для вычисления различий комфортной температуры для людей с различными показателями указанных факторов. Несмотря на вышеуказанные недостатки модель PMV – PPD была закреплена в стандартах ISO7730 и ASHRAE.

2. Постановка задачи

Уровень температурного комфорта характеризуется шкалой температурных ощущений стандарта ASHRAE, приведенной в таблице [1, 2, 5, 9, 21, 23, 29, 30].

Величина	Ощущение
+3	Жарко
+2	Тепло
+1	Слегка тепло
0	Нейтрально
-1	Слегка прохладно
-2	Прохладно
-3	Холодно

Усредненное значение температурных ощущений большого количества людей с использованием шкалы ASHRAE определяется в качестве среднепрогнозируемой оценки теплового комфорта (PMV).

Как отмечается в работе [28], О. П. Фангер предложил следующую формулу взаимосвязи между PMV и тепловой нагрузкой на человека

$$PMV = 3.155 \cdot (0,303e^{-0,114M} + 0,028) \cdot L \quad (2)$$

где: M – уровень метаболической генерации тепла в зависимости от двигательной активности человека, met (1 met = 58,1 Вт/м²); L – разница между про-

изводимым внутренним теплом человека и потерями в окружающую среду.

Известно [15, 28], что метаболические тепловые потери человека могут быть учтены следующим образом:

$$q_{met,heat} = M - w \quad (3)$$

где: $q_{met,heat}$ – показатель, характеризующий метаболические тепловые потери; w – работа человека в расчете на единицу площади поверхности (тела человека), в (Btu/hft²).

В формуле (2) L является тепловой нагрузкой на человека и определяется как разница между M и тепловыми потерями тела человека в окружающую среду в комфортных условиях.

Согласно [28], L определяется как

$$L = q_{met,heat} - f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a) - f_{cl} \cdot h_F \cdot (T_{cl} - T_F) - 156(w_{sk} - w_a) - 0,142 \cdot (q_{met,heat} - 18,43) - 0,00077M \cdot (93,2 - T_a) - 2,78M(0,0365 - w_a) \quad (4)$$

где: T_{cl} – средняя температура поверхности тела человека в одежде; F ; f_{cl} – отношение площади закрытой части тела к площади поверхности тела (A_{cl}/A_D); R_{cl} – эффективное тепловое сопротивление одежды ft² · F · h/Btu; T_a – температура воздуха, F; h_c – коэффициент конвективного теплопереноса, Btu/ft² · F · h; T_F – средняя радиационная температура, F или R; h_F – коэффициент радиационного теплопереноса, Btu/ft² · F · h; w_a – отношение влажности воздуха; w_{sk} – отношение насыщенной влажности при заданной температуре кожи.

Показатель M из выражения (3) находим как

$$M = q_{met,heat} - w \quad (5)$$

Выражение (4) запишем как

$$L = c \cdot q_{met,heat} - c_1 - M[0,0007762 \cdot (93,2 - T_a) - 2,78(0,0365 - w_a)] = c \cdot q_{met,heat} - c_1 - c_2M \quad (6)$$

где:

$$c_1 = f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a) - f_{cl} \cdot h_F \cdot (T_{cl} - T_F) - 156(w_{sk} - w_a) + 0,142 \cdot 18,43 \quad (7)$$

$$c = (1 - 0,142) = 0,858 \quad (8)$$

$$c_2 = 0,00077 \cdot (93,2 - T_a) - 2,78(0,0365 - w_a) \quad (9)$$

Из выражения (6) находим

$$q_{met,heat} = \frac{L + c_1 + c_2M}{c} \quad (10)$$

С учетом выражений (5) и (10) напишем

$$M + w = \frac{L + c_1 + c_2M}{c} \quad (11)$$

Из выражения (11) получим

$$L = c \cdot (M + w) - c_1 - c_2M = M \cdot c_3 + cw - c_1 \quad (12)$$

где: $c_3 = c - c_2$ (13)

Таким образом, при $C_3 > 0$ первый множитель в (2) является убывающей функцией M , а второй множитель, то есть L , является растущей функцией M . На основе этого факта можно предположить, что для группы людей с различными показателями M величина PMV может иметь экстремальную величину и, следовательно, использование такой оценки целесообразно с точки зрения метрологической науки. В более общем виде вышеуказанное предположение можно сформулировать следующим образом: при каком виде функциональной связи между M и w среднеинтегрированная по w величина PMV достигла бы экстремальной величины? Очевидно, что свойство экстремальности среднеинтегрированной величины PMV в зависимости от исследуемой группы людей в помещении явно нежелательно, так как в этом случае может быть нарушена объективность и значимость таких оценок.

Задачу исследования сформулируем следующим образом. Представим, что имеется множество H людей, определяющееся следующими характеристиками:

$$H = \{h_1, h_2, \dots, h_n\} \quad (14)$$

1. Все элементы множества H имеют одинаковую функцию $M = \varphi_1(w)$.

2. Элементы множества H имеют показатель w , значение которого составляет упорядоченное множество

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (15)$$

где: $w_i = w_{i-1} + \Delta w$; $i = \overline{1, n}$; $\Delta w = \text{const}$.

3. Третье свойство элементов множества H заключается в том, что их потенциал оценивается как

$$P = \int_{w_{\min}}^{w_{\max}} \varphi_1(w)dw = c_4 = \text{const} \quad (16)$$

Выражение (16) означает, что суммарный потенциал элементов множества H в метаболической генерации тепла не зависит от w и постоянен.

С учетом вышеизложенных условий задача исследования формируется следующим образом. Следует выяснить, насколько правомерна оценка (2) PMV и не определяет ли оценка (2) минимальную величину PMV для вышеуказанного множества H в среднеинтегрированном смысле?

4. Решение задачи

Рассмотрим решение данной задачи в среднеинтегрированном смысле применительно ко множеству (13).

На базе выражения (2) с учетом выражений (12) и (13) сформулируем среднеинтегральную оценку:

$$PMV_{cp} = \frac{1}{w_{\max} - w_{\min}} \int_{w_{\min}}^{w_{\max}} (d_1 \cdot e^{-d_2\varphi_1(w)} + d_3) \cdot [c_3 \cdot \varphi_1(w) + cw - c_1]dw \quad (17)$$

где: $d_1 = 3,155 \cdot 0,303$; $d_2 = 0,114$; $d_3 = 0,028$.

С учетом выражений (16) и (17) составим полный функционал безусловной вариационной оптимизации:

$$PMV_{cp} = \frac{1}{w_{max} - w_{min}} \int_{w_{min}}^{w_{max}} (d_1 \cdot e^{-d_2 \varphi_1(w)} + d_3) \cdot [c_3 \cdot \varphi_1(w) + c_4] \cdot [c_5 w - c_1] dw + \lambda \left[\int_{w_{min}}^{w_{max}} \varphi_1(w) dw - c_4 \right] \quad (18)$$

где: λ – множитель Лагранжа.

Согласно уравнению Эйлера – Лагранжа, иско- мая функция $\varphi_1(w)$, при которой функционал достиг бы экстремального значения, должна удовлетворять следующему условию:

$$\frac{d \left\{ (d_1 \cdot e^{-d_2 \varphi_1(w)} + d_3) \cdot [c_3 \cdot \varphi_1(w) + c_4] + \lambda \cdot \varphi_1(w) \right\}}{d\varphi_1(w)} = 0 \quad (19)$$

Решение оптимизационной задачи (18) с учетом условия (19) показало, что при следующей функци- ональной зависимости

$$M = c_5 \cdot \ln(L - c_5) + c_6 \quad (20)$$

где $c_5, c_6 = \text{const}$, функционал (18) достигает своего минимума.

Можно показать, что качественно аналогичный результат можно получить, решая оптимизацион- ную задачу исследования экстремума следующего функционала:

$$PMV_{cp} = \frac{1}{w_{max} - w_{min}} \int_{w_{min}}^{w_{max}} (d_1 \cdot e^{-d_2 \varphi_1(w)} + d_3) \cdot [c_3 \cdot \varphi_1(w) + c_4] dw \quad (21)$$

Как видно из выражения (21), при такой постановке задачи ограничительное условие не используется.

5. Заключение

Сравнивая выражения (12) и (20), можно за- метить, что минимум целевых функционалов (18) и (21) достигается при наличии логарифмической зависимости между M и L , в то время как согласно исходным теоретическим предположениям в теории температурного комфорта между M и L имеется линейная зависимость. Таким образом, подтвержда- ется отсутствие экстремального свойства оценки (2) при исследовании среднеинтегрированной величины этой оценки.

В заключение сформулируем основные выводы проведенного исследования:

1. Для проверки исходной гипотезы о возможности использования уравнения Фангера применительно ко множеству людей с различными показателями w из-за предполагаемой экстремальной характеристики среднеинтегральной оценки PMV для указанной груп- пы людей сформулирована оптимизационная задача поиска функции $M = \varphi(w)$, при которой среднеинте- гральная оценка PMV достигла бы экстремума.

2. Решение оптимизационной задачи в двух по- становках показало, что целевые функционалы в обоих случаях достигают минимума при наличии логарифмической зависимости M от L .

С учетом того, что в основе концепции теплового комфорта заложена линейная зависимость между M

и L , сделано заключение о целесообразности при- менения среднеинтегральной оценки для множества людей с разными значениями w с целью групповой оценки температурного комфорта.

Список литературы / References

1. Дворецкий С. И. Производственный микроклимат: (оценка и прогнозирование воздействия): метод. указ. / сост.: В. М. Дмитриев, Е. А. Сергеева, Л. С. Тарова, В. Б. Михайлов, А. В. Бояршинов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. Ч. 1. 32 с.

Dvoretckii S. I. *Proizvodstvennyi mikroklimat: (otsenka i prognozirovanie vozdeystviia)* [Industrial microclimate:(estimate and prognosis of impact). Methodical recommendations. Sost.: V. M. Dmitriev, E. A. Sergeeva, L. S. Tarova, V. B. Mihailov, A. V. Boyarshinov. Tambov, 2003, pt. 1, 32 p.

2. Дорофеев В. Н. Теоретические основы создания микроклимата в помещении. URL: <http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/5545> (дата обращения: 30.03.2018).

Dorofeev V. N. *Teoreticheskie osnovy sozdaniia mikroklimata v pomeshchenii* [Theoretical basis of development of indoor microclimate]. Available at: <http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/5545> (accessed: 30.03.18).

3. Индексы теплового комфорта: учебно-методическое пособие / Университет ИТМО. Санкт-Петербург, 2016. 36 с.

Indices of thermal comfort. Educational-methodical textbook. ITMO University. Saint Petersburg, 2016, 36 p. [In Russian]

4. Нагорная А. Н. Применение CFM-программ для исследования тепловых и воздушных режимов помещений. Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции Секции технических наук. Челябинск, 2012. С. 985–992.

Nagornaiа A. N. Utilization of CFM software for research of thermal and aerial indoor regimes. *Science of South Ural State University. Materials of 66-th scientific conference. Section of technical sciences*, Cheliabinsk, pp. 985-992. [In Russian]

5. Altayeva A. B., Omarov B. S., Cho Y. I. Intelligent Microclimate Control System Based on IoT. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*. 2016, 16 (4), pp. 254-261.

6. Bryn I., Smidsrød M. *Thermal Comfort; Operative Temperature in the Sun*. Available at: www.irbnet.de/daten/iconda/CIB2448.pdf (accessed: 30.03.18).

7. Cheng Ch. Ch., Lee D. Smart Sensors Enable Smart Air Conditioning Control. *Sensors*. 2014, 14 (6), pp. 11179-11203; doi: 10.3390/s140611179 (accessed: 30.03.18).

8. Chen X., Wang Q., Srebric J. Model predictive control for indoor thermal comfort and energy optimization using occupant feedback. *Energy and Buildings*. 2015, 102, pp. 357-369.

9. Duarte-Galvan C., Torres-Pacheco I., Guevara-Gonzalez R. G., Romero-Troncoso R. J., Contreras-Medina L. M., Rios-Alcaraz M. A., Millan-Almaraz J. R. Review. Advantages and disadvantages of control theories applied in greenhouse climate control systems. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2012, 10 (4), pp. 926-938.

10. Ekici C. *A review of thermal comfort and method of using Fangers PMV equation*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/289201295_A_review_of_thermal_comfort_and_method_of_using_Fanger%27s_PMV_equation (accessed: 30.03.18).

11. Engineering ToolBox. Predicted Mean Vote Index

- (PMV). Available from: http://www.engineeringtoolbox.com/predictewd-mean-vote-index-PMV-d_1631 SPOT: A Smart Personalized Office Thermal Control System. html (accessed: 30.03.18).
12. Feriadi H., Wong N. H., Chandra S., Cheong K. W., Tham K. W. Redefining appropriate thermal comfort standard for naturally ventilated buildings in tropics (singapore and indonesia perspective). Proceedings: Indoor Air 2002. Available at: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7768.pdf> (accessed: 30.03.18).
13. Gallardo A., Palme M., Lobato-Cordero A., Beltrán R. D., Gaona G. Evaluating Thermal Comfort in a Naturally Conditioned Office in a Temperate Climate Zone. *Buildings*. 2016, 6 (3), 27; doi:10.3390/buildings6030027
14. Gao P. X., Keshav S. A smart personalized office thermal control system/ conferences.sigcomm.org/eenergy/2013/papers/p21.pdf (accessed: 30.03.18).
15. Genco A., Viggiano A., Viscido L., Sellitto G., Magi V. Optimization of microclimate control systems for air-conditioned environments. *International journal of heat and technology*. 2017, 35 (1), pp. S236-S243.
16. Goyal S., Ingley H., Barooah P. Occupancy-Based Zone-Climate Control for Energy-Efficient Buildings: Complexity vs. Performance. *Applied Energy*. 2013, 106, pp. 209-221.
17. Hoofl J., Mazej M., Hensen Jan L. M. Thermal comfort: research and practice. *Frontiers in Bioscience*. 2010, 15, pp. 765-788.
18. Kajtar L., Nyers J., Szabo J., Ketskemety L., Herczeg L., Leitner A., Bokor B. Objective and Subjective Thermal Comfort Evaluation in Hungary. *Thermal Science*. 2017, 21 (3), pp. 1409-1418.
19. Kim J. H., Min J. K., Kim B. Is the PMV Index an Indicator of Human Thermal Comfort Sensation? *International Journal of Smart Home*. 2013, 7 (1), pp. 27-35.
20. Kotsopoulos S. D., Casalegno F., Cuenin A. Personalizing Thermal Comfort in a Prototype Indoor Space. *SIMUL 2013. The Fifth International Conference on Advances in System Simulation*. IARIA, 2013, pp. 178-185.
21. Lute P., Paassen D. *Optimal Indoor Temperature Control Using a Predictor*. 0272- 1108/95/\$04.000 1995, IEEE Control Systems. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/.../0736e6c555eadd1125cfe>. (accessed: 30.03.18).
22. Nguyen A. T., Singh M. K., Reiter S. An Adaptive Thermal Comfort Model for Hot Humid South. *Building and Environment*. 2012, 56, pp. 291-300.
23. Nicol J. F., Humphreys M. A. *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/222402882_Adaptive_Thermal_Comfort_and_Sustainable_Thermal_Standards_for_Buildings (accessed: 30.03.18).
24. Pivac N., Nižetić S. *Thermal comfort in office buildings: General issues and challenges. Conference Paper April 2017*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/315809782_Thermal_comfort_in_office_buildings_General_issues_and_challenges?enrichId=rgreq-ce65b136d41051d503751da7f2f1f7ca-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWd1OzMxNTgwOTc4MjtBUzo0OD A0NTc3Mzg0NjExODZAMTQ5MTU2MTQ1OTg3Ng%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf (accessed: 30.03.18).
25. Olesen B. W. Seelen J. Criteria for a comfortable indoor environment in buildings. *Journal Thermal Biology*. 18 (5-6), pp. 545-549
26. José A., Orosa J. A. Research on the Origins of Thermal Comfort. *European Journal of Scientific Research*. 2009, 34 (4), pp. 561-567.
27. Personalizing Thermal Comfort in a Prototype Indoor Space. Available at: http://mobile.mit.edu/fbk/wp-content/uploads/2014/03/simul_2013_8_10_50120.pdf (accessed: 30.03.18).
28. Predicting Thermal Comfort AREN 3050. Environmental systems for Buildings. Available from: <https://comfortandusingFangersPMVequation.methodofgradebuddy.com/doc/601883/predicting-thermal-comfort?full=1> (accessed: 30.03.18).
29. Reinhold K., Tint P., Munter R. *Indoor air quality in industrial premises*. Material science and applied chemistry. 2009-7353. RTU Zinātniskie raksti Materiālzinātne un lietišķā ēmija, 20. sējums 2009. Available at: <https://ortus.rtu.lv/science/lv/publications/7307/fulltext> (accessed: 30.03.18).
30. Samarin O. D. The probabilistic-statistical modeling of the external climate in the cooling period. *Magazine of Civil Engineering*. 2017, 5, pp. 62-68.
31. Stazia F., Gregorinib B., Gianangelib A., Bernardinib G., Quagliarini E. Design of a smart system for indoor climate control in historic underground built environment. 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-17, 5-7 July 2017, Chania, Crete, Greece. *Energy Procedia*. 2017, 134, pp. 518-527.
32. Yang Y., Li B., Liu H., Tan M., Yao R. A study of adaptive thermal comfort in a well-controlled climate chamber. *Applied Thermal Engineering*. 2015, 76, pp. 283-291. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.11.004> (accessed: 30.03.18).

Контактная информация:

Гусейнова Матанат Вагиф гызы – старший преподаватель Азербайджанского технического университета
Адрес: Азербайджанская Республика, г. Баку, AZ1073, пр. Гусейн Джавида, 25
E-mail: m.v.huseynova@gmail.com