

ЭКОЛОГИЯ

Ч Е Л О В Е К А

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

05.2020

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 – А. М. Гржибовский (Архангельск)

Заместители главного редактора: А. Б. Гудков (Архангельск), И. Б. Ушаков (Москва)

Научный редактор – П. И. Сидоров (Архангельск)

Международный редактор – Й. О. Одланд (Норвегия)

Ответственный секретарь – О. Н. Попова (Архангельск)

Редакционный совет: И. Н. Болотов (Архангельск), Р. В. Бузинов (Архангельск), П. Вейхе (Фарерские острова), М. Гисслер (Финляндия/Швеция), Л. Н. Горбатова (Архангельск), А. В. Грибанов (Архангельск), Р. Джонсон (США), Н. В. Доршакова (Петрозаводск), П. С. Журавлев (Архангельск), Н. В. Зайцева (Пермь), А. Ингве (Швеция), Р. Каледене (Литва), В. А. Карпин (Сургут), П. Ф. Кику (Владивосток), П. Магнус (Норвегия), В. И. Макарова (Архангельск), А. Л. Максимов (Магадан), А. О. Марьяндышев (Архангельск), И. Г. Мосягин (Санкт-Петербург), Э. Нибоер (Канада), Г. Г. Онищенко (Москва), В. И. Покровский (Москва), К. Пярна (Эстония), А. Раутио (Финляндия), Ю. А. Рахманин (Москва), Г. Роллин (ЮАР), М. Рудге (Бразилия), Й. Руис (Испания), А. Г. Соловьев (Архангельск), Г. А. Софронов (Санкт-Петербург), В. И. Торшин (Москва), Т. Н. Унгурияну (Архангельск), В. П. Чащин (Санкт-Петербург), В. А. Черешнев (Москва), З. Ши (Катар), К. Ю (Китай), К. 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) 20 марта 2020 г. Регистрационный номер ПИ № ФС77-78166

Подписано в печать 06.05.20. Дата выхода в свет 15.05.20. Формат 60×90/8. Печать цифровая.

Уч.-изд. л. 7,1. Тираж 1000 экз., зак. 2223.

Индекс 20454. Цена свободная

© Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

HUMAN

ECOLOGY

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC JOURNAL

05.2020

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 - A. M. Grijbovski (Arkhangelsk)

Deputy Editors-in-Chief: A. B. Gudkov (Arkhangelsk), I. B. Ushakov (Moscow)

Science Editor - P. I. Sidorov (Arkhangelsk)

International Editor - J. Ø. Odland (Norway)

Executive Secretary - O. N. Popova (Arkhangelsk)

Editorial Council: I. N. Bolotov (Arkhangelsk), R. V. Buzinov (Arkhangelsk), P. Weihe (Faroe Islands), M. Gissler (Finland/Sweden), L. N. Gorbatova (Arkhangelsk), A. V. Gribanov (Arkhangelsk), R. Johnson (USA), N. V. Dorshakova (Petrozavodsk), P. S. Zhuravlev (Arkhangelsk), N. V. Zaitseva (Perm), A. Yngve (Sweden), R. Kalediene (Lithuania), V. A. Karpin (Surgut), P. F. Kiku (Vladivostok), P. Magnus (Norway), V. I. Makarova (Arkhangelsk), A. L. Maksimov (Magadan), A. O. Maryandyshv (Arkhangelsk), I. G. Mosyagin (Saint Petersburg), E. Nieboer (Canada), G. G. Onishchenko (Moscow), V. I. Pokrovsky (Moscow), K. Pärna (Estonia), A. Rautio (Finland), Ya. A. Rakhmanin (Moscow), H. Rollin (South Africa), M. Rudge (Brazil), J. Ruiz (Spain), A. G. Soloviev (Arkhangelsk), G. A. Sofronov (Saint Petersburg), V. I. Torshin (Moscow), T. N. Unguryanu (Arkhangelsk), V. P. Chashchin (Saint Petersburg), V. A. Chereshev (Moscow), Z. Shi (Qatar), C. Yu (China), K. 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 20.03.2020.

Registration number ПИ № ФС 77-78166.

Format 60×90/8. Digital printing. Index 20454. Free price

© Northern State Medical University, Arkhangelsk

СОДЕРЖАНИЕ

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

- Яхияев М. А., Салихов Ш. К., Курбанова З. В.,
Абусеува Б. А., Луганова С. Г.**
Содержание свинца в окружающей среде
и первичная заболеваемость артериальной гипертензией
в Кизилюртовском районе Республики Дагестан 4
- Крячюнас В. В., Кузнецова И. А., Котова Е. И.,
Игловский С. А., Мироненко К. А., Суханов С. Г.**
Содержание и особенности распределения естественных
и техногенных радионуклидов в почвах
малого арктического города 11
- Рыбаков Д. С., Белашев Б. З.**
Погодно-климатические условия, загрязнение
атмосферного воздуха, вызовы скорой медицинской помощи
и смертность населения в Петрозаводске..... 21

ЭНДОЭКОЛОГИЯ

- Давидович Н. В., Соловьева Н. В.,
Башилова Е. Н., Бажукова Т. А.**
Эндоэкологические аспекты устойчивости к антибиотикам:
обзор литературы..... 31

СОЦИАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Концевая А. В., Агишина Т. А., Гамбарян М. Г.,
Дупляков Д. В., Драпкина О. М.**
Влияние мер антитабачной политики на уровень
госпитальной заболеваемости острым инфарктом миокарда
и нестабильной стенокардией в трех регионах
Российской Федерации 37

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Агарков Н. М., Пошибайлова А. В., Иванов В. А.**
Атмосферные загрязнители и распространённость
бронхиальной астмы среди детей: обзор литературы 45
- Евстафьева Е. В., Лапченко В. А., Макарова А. С.,
Абибуллаева Н. К., Евстафьева И. А.**
Температура и озон в приземном слое атмосферы
как факторы риска неотложных состояний системы
гемодинамики у населения южных территорий России..... 50

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Миронова А. А., Наркевич А. Н., Виноградов К. А.,
Курбанисмаилов Р. Б., Гржибовский А. М.**
Методика оценки нагрузки смертности от различных причин
на ожидаемую продолжительность жизни 57

СОДЕРЖАНИЕ СВИНЦА В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ И ПЕРВИЧНАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ В КИЗИЛЮРТОВСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

© 2020 г. ^{1,2}М. А. Яхияев, ²Ш. К. Салихов, ³З. В. Курбанова, ³Б. А. Абусева, ⁴С. Г. Луганова

¹НИИ экологической медицины ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Махачкала; ²ФГБУН«Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН», г. Махачкала;

³ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Махачкала; ⁴ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный педагогический университет», г. Махачкала

Цель работы – изучить связь между содержанием свинца в окружающей среде (почвы, водоисточники, продукты питания) фоновых территорий и заболеваемости населения Кизилюртовского района Дагестана эссенциальной артериальной гипертензией (АГ). *Методы.* Данные по заболеваемости населения были получены в ГБУ РД «Кизилюртовская ЦРБ». Исследование статуса свинца в почвах территории района проводилось на базе передвижной лаборатории экологического мониторинга Дагестанского государственного университета (ДГУ). На территории исследования выбирали площадки с однородным почвенным покровом, с которых отбирали смешанную усреднённую пробу почвы. Анализ содержания свинца в почвах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на МГА-915МД, основанном на извлечении элемента из почвенных проб и последующего определения массовой концентрации. Содержание свинца в пробах вод и продуктов питания определяли методом ААС в режиме электротермической атомизации на спектрометре contrAA 700 (AnalytikJena AG, Германия) на кафедре аналитической и фармацевтической химии химического факультета ДГУ. Полученные результаты были обработаны в программе Statistica 6.0. Данные представлены в форме $M \pm SD$. Тип распределения данных определяли с помощью критерия Шапиро – Уилка. Для определения значимости связи между параметрами, имеющими нормальное распределение, применяли коэффициент корреляции Пирсона. Для выявления различий между населенными пунктами по содержанию свинца в почвах, воде, продуктах питания использовался однофакторный дисперсионный анализ (One-Way ANOVA). *Результаты:* установлена сильная прямая корреляция между концентрациями свинца в объектах окружающей среды (почва, вода, продукты питания) и первичной заболеваемостью АГ населения в исследуемых населенных пунктах ($r = 0,97–0,99$). *Вывод.* Чем выше содержание свинца в окружающей среде, тем выше заболеваемость населения первичной АГ. В развитии АГ определенное значение имеет статус свинца в почвах, который по пищевой цепи «почва – вода – продукты питания» попадает в организм человека, влияя на заболеваемость населения.

Ключевые слова: свинец, почва, водоисточники, продукты питания, первичная (эссенциальная) артериальная гипертензия

ENVIRONMENTAL LEAD CONCENTRATIONS AND INCIDENCE OF HYPERTENSION IN THE KIZILYURT DISTRICT, DAGESTAN

^{1,2}M. A. Yahyaev, ²Sh. K. Salikhov, ³Z. V. Kurbanova, ³B. A. Abusueva, ⁴S. G. Luganova

¹Research Institute of Environmental Medicine, Dagestan State Medical University, Makhachkala;

²Precaspian Institute of Biological Resources of the Dagestan Federal Research Centre RAS, Makhachkala;

³Dagestan State Medical University, Makhachkala; ⁴Dagestan State Pedagogical University, Makhachkala, Russia

The aim was to study associations between the lead content in the environment (soil, water sources, food) and the incidence of hypertension among residents of the Kizilyurt district, Dagestan. *Methods.* An ecological study. Data on the incidence of hypertension were obtained from the documentation at Kizilyurt Central District Hospital. Assessment of lead concentrations in the soils was performed by a mobile laboratory for environmental monitoring of the Dagestan State University. Lead concentrations were estimated by atomic absorption spectrometry at MGA-915MD, based on the extraction of an element from soil samples and the subsequent determination of mass concentration. The lead content in water and food samples was determined by the AAS method in the electrothermal atomization mode on a contrAA 700 spectrometer (Analytik Jena AG, Germany). The data were presented as means and standard deviations. Distribution of numeric data was assessed using Shapiro-Wilk test. Associations between lead concentrations and the incidence of hypertension were studied using Pearson's correlation coefficients. One-Way ANOVA test was used to identify differences between settlements in terms of lead content in soils, water, and food products. *Results.* A strong positive correlation was found between the concentrations of lead in environmental objects (soil, water, food) and the incidence of hypertension (r varied between 0.97 and 0.99). *Conclusions.* The higher lead concentrations in the environment are associated with the higher incidence of hypertension. Lead in soils can be considered as an important factor for the development of essential hypertension

Key words: lead, soil, water sources, food, primary (essential) arterial hypertension

Библиографическая ссылка:

Яхияев М. А., Салихов Ш. К., Курбанова З. В., Абусева Б. А., Луганова С. Г. Содержание свинца в окружающей среде и первичная заболеваемость артериальной гипертензией в Кизилюртовском районе Республики Дагестан // Экология человека. 2020. № 5. С. 4–10.

For citing:

Yahyaev M. A., Salikhov Sh. K., Kurbanova Z. V., Abusueva B. A., Luganova S. G. Environmental Lead Concentrations and Incidence of Hypertension in the Kizilyurt District, Dagestan. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 4-10.

Бесспорные достижения в лечении сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) в XXI веке не привели к уменьшению заболеваемости, патология и в настоящее время является глобальной проблемой здравоохранения. Российской Федерации принадлежит лидирующее место в мире по смертности населения от ССЗ, ведущее место среди данных заболеваний занимает артериальная гипертензия (АГ) [14].

Артериальная гипертензия, стойкое повышение артериального давления от 140/90 мм рт. ст. и выше, — важнейшая проблема современного здравоохранения, фактор риска ССЗ, болезней легких и некоторых других патологий [18, 19] — является многофакторным заболеванием.

Одним из факторов риска развития заболеваний являются химические элементы, которые определяют строение клеток и тканей, участвуют в обмене веществ, образовании крови, деятельности нервной системы, входят в состав витаминов, ферментов, гормонов. Нарушение минерального баланса вследствие недостатка или избытка элементов в организме человека приводит к изменениям в эндокринной, иммунной, сердечно-сосудистой системах и к патологиям [5, 20].

Статус элементного состава организма зависит от условий окружающей геохимической среды. Многочисленные исследования [12, 21, 22, 30] выявили, что заболевания, имеющие распространение в разных регионах, непосредственно связаны со спецификой химического состава почв и продуктов питания, производимых на этих территориях. В развитых странах в рацион населения дополнительно включают продукты питания, производимые в других геохимических областях, вследствие чего устраняются условия, оказывающие воздействие на здоровье населения вследствие геохимических особенностей местности.

Дисбаланс химических элементов — геохимическая основа развития ССЗ, являющихся существенными в структуре заболеваемости населения. Одной из злободневных является АГ — заболевание, носящее характер пандемии и определяющее структуру ССЗ и смертности во всём мире. Согласно оценкам ВОЗ, 16,5 % всех случаев смерти вызвано повышением артериального давления (АД) [25], которое является основным фактором риска развития ишемической болезни сердца (ИБС), а также ишемического и геморрагического инсультов [23]. Около 51 % случаев смерти наступает в результате мозговых инсультов, 45 % — в результате ИБС [24].

Большое значение в этиологии АГ принадлежит тяжелым металлам. Выявлена положительная корреляция между воздействием свинца в различных дозах и показателями АД у пациентов [17], свинец увеличивает тонус симпатической нервной системы, увеличивает содержание катехоламинов в крови и отдельных структурах мозга, определяя увеличение АД [28], стимулирует работу гладкомышечных волокон сосудов [26].

Актуальность изучения связи содержания тяжелых металлов в окружающей среде и этиологии АГ обусловлена влиянием факторов окружающей среды на здоровье человека, является ключевой проблемой современных научных исследований. Выявление алиментарных факторов риска, объясняющих этиологию данного заболевания, поможет сформировать новые подходы к ее лечению и профилактике.

Цель настоящего исследования — оценка связи содержания свинца в почвах, водосточниках и продуктах питания фоновых территорий Кизилюртовского района Дагестана и заболеваемости населения эссенциальной артериальной гипертензией.

Методы

Работа относится к описательному экологическому исследованию. Данные по заболеваемости населения первичной АГ за 2015 год были получены в ГБУ РД «Кизилюртовская ЦРБ» (отчетная форма 12). Исследованием было охвачено взрослое население 18–60 лет. Для обнаружения связи концентрации свинца в почвах и заболеваемостью населения района эссенциальной АГ были исследованы почвы населенных пунктов с проживающим здесь коренным населением с минимальной миграцией.

Исследования проб почв, вод и продуктов питания на содержание свинца проведены в 2014 году. В качестве пробных площадей были выбраны участки, не имевшие как природных геохимических аномалий в содержании свинца, так и антропогенных источников загрязнения окружающей среды. Образцы почв для анализа отобраны в летние месяцы.

Экспедиционные исследования на территории Кизилюртовского района проводились на базе передвижной лаборатории экологического мониторинга Дагестанского государственного университета (ДГУ). На исследуемых участках находили площади с одинаковым почвенно-растительным покровом (25 м²), с которых на глубине пахотного слоя отбирали пробы почв (50–70 г). Из пяти отдельных образцов составляли смешанную усреднённую пробу (около 300 г), освобождая ее от корней, камней, включений, помещали в чистый тканевой мешочек, вкладывая в него сопроводительный талон (МУ 2.1.7.730-99). В дальнейшем из мешочка отбирались пробы для определения свинца с использованием ААС МГА-915МД [4]. Метод основан на извлечении элемента из проб почв с последующим измерением его массовой концентрации методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Отбор почвенных проб и их первичная подготовка к анализу осуществлялись согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Изучение химического состава речных вод велось путем маршрутных экспедиционных обследований. Пробы воды отбирались в летние месяцы в пластиковые сосуды объемом 2 л. В качестве продуктов питания были исследованы местные сельскохозяйственные культуры и продукты животного происхождения, преимущественно используемые населением Кизилюртовского района.

В каждом населенном пункте было отобрано 10 проб почв, вод, продуктов питания растительного и животного происхождения. Содержание свинца в пробах вод и продуктов питания определяли методом ААС в режиме электротермической атомизации на спектрометре contrAA 700 (Analytik Jena AG, Германия) [6] на кафедре аналитической и фармацевтической химии ДГУ. Полученные экспериментальные данные были обработаны в программе Statistica 6.0. Для описания количественных данных использовали среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (SD). Тип распределения данных определяли с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для определения тесноты и значимости связи между параметрами, имеющими нормальное распределение, применяли коэффициент корреляции Пирсона. За критический уровень значимости принимали значение $p < 0,05$. С целью выявления различий между населенными пунктами в содержании свинца в почвах, водах, продуктах питания использовался однофакторный дисперсионный анализ (One-Way ANOVA).

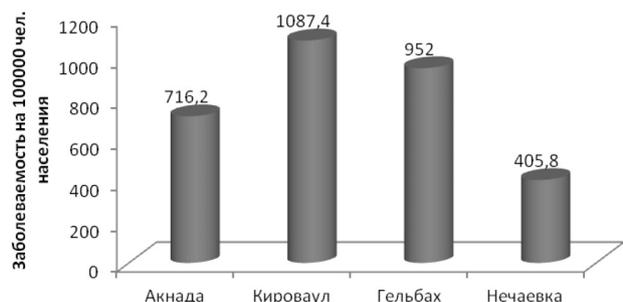
Результаты

Кизилюртовский район расположен в центральной части Дагестана, на стыке равнин Терско-Сулакской низменности и предгорьями Северо-Восточного Кавказа. Территория района занимает площадь 524 км², лежит на высоте примерно 325 м над уровнем моря. На территории района образовано 13 муниципальных образований — сельских поселений с числом населенных пунктов 16 и числом жителей 68 966 человек (01.01.2016 г.).

Ведущей отраслью экономики района является сельское хозяйство, в особенности такие его направления, как растениеводство и животноводство.

Исследуемые населенные пункты Акнада, Кироваул, Гельбах, Нечаевка являются фоновыми территориями для Кизилюртовского района, на которых отсутствуют промышленные предприятия и карьеры по добыче полезных ископаемых, имеющиеся на территории других поселений данного района.

Заболеваемость первичной АГ населения варьирует в разных населенных пунктах. Максимальная заболеваемость населения отмечена в Кировауле, минимальная — в Нечаевке (рисунок).



Показатели заболеваемости взрослого населения первичной артериальной гипертензией по населенным пунктам Кизилюртовского района, 2015 г. (сведения ГБУ РД «Кизилюртовская ЦРБ»)

Большую роль в развитии заболеваний населения играет геохимическая среда, роль эта обусловлена использованием химических элементов, получаемых по цепи «почва — природные воды — продукты питания — организм человека» в процессах метаболизма, вхождением их в состав ферментов, гормонов, витаминов и других соединений, влияющих на гомеостаз организма человека.

Связь содержания химических элементов в почвах Дагестана и развития АГ населения изучена недостаточно. Имеются отдельные исследования, которые указывают на корреляционные отношения между содержанием в почвах Fe, Cu, Ni, Co [1], Mg, Cu, Mn, Zn, Mo, Co [16] и заболеваемостью населения АГ.

Тяжелые металлы являются факторами риска АГ, поскольку способны к миграции по пищевым цепям и накоплению в организме человека, проявлению негативного воздействия даже в незначительных концентрациях.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) подвижной формы свинца в почве (экстрагент 1н. HCl) [13] составляет 60 мг/кг, ПДК в водах [9] — 0,03 мг/л.

Исследования выявили, что содержание свинца в почвах населенных пунктов Кизилюртовского района колебалось в пределах 13–38 мг/кг, что составило 0,22–0,63 ПДК подвижной формы элемента, в водоисточниках его содержание также варьировало, достигая 0,46–0,6 ПДК (табл. 1).

Таблица 1
Содержание свинца ($M \pm SD$) в почвах и водоисточниках Кизилюртовского района ($n = 10$)

Объект исследования	Населенный пункт			
	Акнада	Кироваул	Гельбах	Нечаевка
Почва, мг/кг	28,65 ± 0,78	38,33 ± 0,60	37,67 ± 0,51	13,0 ± 0,44
Водоисточники, мг/л	0,0163 ± 0,0006	0,0178 ± 0,0004	0,0171 ± 0,0004	0,0137 ± 0,0005

Содержание свинца в пробах продуктов питания населения также различалось в местах отбора (табл. 2).

ПДК свинца в продуктах питания [11]: молоко — 0,1; творог, яйцо куриное — 0,3; остальные — 0,5 мг/кг.

В продуктах питания содержание свинца сильно варьировало — от 0,1 ПДК в тыкве до 1,88 в фасоли. Среднее содержание элемента в овощах составило 0,75 ПДК, в мясных продуктах — 0,17 ПДК, в яйцах — 0,22.

По результатам однофакторного дисперсионного анализа содержание свинца в объектах исследования (почва, вода, продукты питания) в населенных пунктах Акнада, Кироваул, Гельбах и Нечаевка различалось ($F = 110-3\ 890$; $p < 0,001$).

Установлена сильная прямая корреляция между концентрациями свинца в объектах окружающей среды (почва, вода, продукты питания) и первичной заболеваемостью АГ населения в исследуемых населенных пунктах ($r = 0,97-0,99$; $p = 0,013$).

Таблица 2
Содержание свинца в продуктах питания ($M \pm SD$) населения Кизилюртовского района, мг/кг ($n = 10$)

Объект исследования	Населенный пункт			
	Акнада	Кироваул	Гельбах	Нечаевка
Кукуруза	0,42 ± 0,02	0,55 ± 0,02	0,48 ± 0,01	0,24 ± 0,01
Фасоль	0,83 ± 0,03	0,94 ± 0,03	0,90 ± 0,02	0,63 ± 0,03
Картофель	0,36 ± 0,02	0,58 ± 0,04	0,42 ± 0,02	0,30 ± 0,02
Чеснок	0,25 ± 0,02	0,40 ± 0,02	0,37 ± 0,02	0,17 ± 0,01
Морковь	0,39 ± 0,02	0,59 ± 0,03	0,44 ± 0,02	0,33 ± 0,02
Свекла	0,35 ± 0,02	0,47 ± 0,02	0,39 ± 0,02	0,26 ± 0,01
Томаты	0,19 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,16 ± 0,01
Тыква	0,041 ± 0,002	0,084 ± 0,004	0,064 ± 0,003	0,021 ± 0,001
Молоко	0,040 ± 0,001	0,049 ± 0,001	0,045 ± 0,001	0,034 ± 0,001
Творог	0,060 ± 0,001	0,069 ± 0,001	0,065 ± 0,001	0,050 ± 0,001
Баранина	0,083 ± 0,002	0,097 ± 0,002	0,093 ± 0,002	0,074 ± 0,001
Говядина	0,077 ± 0,001	0,095 ± 0,002	0,090 ± 0,001	0,070 ± 0,001
Яйцо куриное	0,063 ± 0,001	0,079 ± 0,001	0,070 ± 0,001	0,053 ± 0,001

Обсуждение результатов

Немаловажную роль в развитии заболеваний населения играет геохимическая среда, которая влияет на состав объектов окружающей среды (почва, природные воды, растения). Миграция металлов совершается по пищевой цепочке: почва — вода — пищевые продукты растительного и животного происхождения — организм человека. Подтверждением данного утверждения являются также наши предыдущие исследования [2, 7, 10, 15], которые указывают на то, что дисбаланс металлов в почвах в конечном итоге приводит к возникновению неинфекционных заболеваний населения Дагестана.

Исследование, проведенное в одной из гимназий Санкт-Петербурга, показало, что уровень АД зависел от $Ca^{2+}-Mg^{2+}$ баланса в организме подростков. Нормализация минерального состава воды может служить одним из методов первичной профилактики нарушений со стороны сосудистого тонуса [3]. Работа [8], проведенная в Казанском государственном медицинском университете, показала, что воздействие неблагоприятной экологической обстановки на детский организм, приводящее к накоплению токсического элемента свинца и дисбалансу эссенциальных элементов (цинка, медь, магний, кальций), приводит к снижению активности антиокислительных систем, угнетению тканевого дыхания, развитию функциональных отклонений и клинических проявлений эссенциальной АГ. Исследователи Индии [27] также указывают на роль ионов H^+ , Na^+ , K^+ и Ca^{2+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} в продуктах питания населения в регуляции окислительно-восстановительных ферментов, нарушение баланса которых приводит к АГ. Исследователи США [29] показали, что смертность от АГ высока в юго-восточных штатах, концентрация почвы в которых имеет значительную связь с пространственными различиями в показателях эссенциальной

АГ и смертности, связанной с ней, в 48 штатах в период 1999–2014 годов.

Эти исследования согласуются с концепцией нашей работы, отличием которой является выявление роли свинца в заболеваемости населения первичной АГ, по которой обнаружена значимая корреляция с содержанием в почвах, водах, продуктах питания. Однако наша работа локально ограничена одним районом исследования, в дальнейшем планируется перенести исследования на другие территории.

В результате проведенного исследования выявлена статистически значимая связь заболеваемости первичной (эссенциальной) АГ взрослого населения фоновых территорий Кизилюртовского района Дагестана со статусом свинца в почвах, который по пищевой цепи «почва — вода — продукты питания» попадает в организм человека.

Полученная информация может быть использована для принятия научно обоснованных решений в области экологии, сельского хозяйства, здравоохранения.

Авторство

Яхияев М. А., Салихов Ш. К., Курбанова З. В. внесли основной вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, окончательно утвердили присланную в редакцию рукопись; Абусуева Б. А., Луганова С. Г. внесли существенный вклад в получение и анализ экспериментальных данных.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Яхияев Магомедпазил Атагишиевич — SPIN 5284-4982; ORCID 0000-0002-9955-5019

Салихов Шамиль Курамагомедович — SPIN 5472-2274; ORCID 0000-0001-5531-3045

Курбанова Зарема Вахаевна — SPIN 5407-5311; ORCID 0000-0002-2591-9895

Абусуева Бурлият Абусуевна — SPIN 3776-7278; ORCID 0000-0001-6039-6025

Луганова Саидат Гаджимагомедовна — SPIN 3769-4866; ORCID 0000-0002-9441-2078

Список литературы

1. Абдурахманов Г. М., Эржапова Э. С., Даудова М. Г. Корреляция между развитием патологий и превышением ПДК загрязняющих веществ в окружающей среде Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2013. Т. 8, № 3. С. 117–125.
2. Абусуев С. А., Яхияев М. А., Салихов Ш. К., Казанбиева П. Д. Содержание йода в почвах и питьевых водах Дагестана и распространенность эпидемического зоба // Проблемы женского здоровья. 2016. Т. 11, № 1. С. 26–31.
3. Борисова И. Ю., Макаров В. Л., Чурина С. К. Артериальное давление и показатели минерального обмена в организованной популяции подростков раннего перипубертатного и начального пубертатного периодов (экология природных дефицитов) // Артериальная гипертензия. 2014. Т. 20, № 5. С. 391–400.
4. Измерение массовой доли элементов (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn) в пробах почв, грунтов, донных отложений и осадков сточных вод. Методика М 03-07-2014. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.63-09. М., 2014.
5. Кожин А. А., Владимирский Б. М. Микроэлементозы в патологии человека экологической этиологии. Обзор литературы // Экология человека. 2013. № 9. С. 56–64.
6. Крысанова Т. А., Котова Д. Л., Бабенко Н. К. Атомно-абсорбционная спектроскопия. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. 31 с.
7. Луганова С. Г., Яхияев М. А., Салихов Ш. К., Гамзаева А. У. Влияние ряда микроэлементов в почвах и природных водах Дагестана на здоровье населения // Микроэлементы в медицине. 2018. Т. 19, № 3. С. 41–48.
8. Макарова Т. П., Хабибрахманова З. Р., Садыкова Д. И. Показатели обмена микро- и макроэлементов у пациентов с эссенциальной артериальной гипертензией, проживающих в районах с различной экологической обстановкой // Казанский медицинский журнал. 2013. Т. 94, № 6. С. 798–803.
9. Садовникова Л. К., Орлов Д. С., Лозановская И. Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении. М.: Высшая школа, 2006. 334 с.
10. Салихов Ш. К., Яхияев М. А., Луганова С. Г., Атаев М. Г., Курбанова З. В., Алиметова К. А. Эндемический зоб в Дагестане как результат дефицита йода и селена в объектах ее биосферы // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. Т. 19, № 5. С. 1729–1732.
11. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (с дополнениями и изменениями). М.: Изд-во ФГУП ИнтерСЭН, 2002. 168 с.
12. Терехина Е. А., Горбачев В. Н., Климентова Е. Г. Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на здоровье населения Ульяновской области // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 3. С. 66–69.
13. Чуддзян Х., Корвета С., Фацеки З. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Братислава, 1988. Вып. 1. С. 5–24.
14. Шальнова С. А., Деев А. Д. Тенденции смертности в России в начале XXI века (по данным официальной статистики) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2011. Т. 10, № 6. С. 5–10.
15. Яхияев М. А., Салихов Ш. К., Рамазанов А. Ш., Курбанова З. В. О значении содержания катионов в биосферном комплексе для человека // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. 2011. № 6. С. 182–185.
16. Яхияев М. А., Салихов Ш. К., Абусуев С. А., Хачиров Д. Г., Атаев М. Г., Абусуева З. С. Артериальная гипертензия — следствие нарушения микроэлементного статуса объектов биосферы // Микроэлементы в медицине. 2016. Т. 17, № 2. С. 10–14. Doi: 10.19112/2413-6174-2016-17-2-10-14
17. Alghasham A. A., Meki A. R., Ismail H. A. Association of blood lead level with elevated blood pressure in hypertensive patients // Int J Health Sci (Qassim). 2011. Vol. 5 (1). P. 17–27. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3312765> (дата обращения: 13.03.2020).
18. Böhm M., Schumacher H., Teo K. K., Lonn E., Mahfoud F., Mann J., Yusuf S. Achieved diastolic blood pressure and pulse pressure at target systolic blood pressure (120–140 mmHg) and cardiovascular outcomes in high-risk patients: results from ONTARGET and TRANSCEND trials // European Heart Journal. 2018. Vol. 39 (33). P. 3105–3114. Doi: 10.1093/eurheartj/ehy287
19. Byrd J. B., Newby D. E., Anderson J. A., Calverley P. M. A., Celli B. R., Cowans N. J. Blood pressure, heart rate, and mortality in chronic obstructive pulmonary disease: the SUMMIT trial // European Heart Journal. 2018. Vol. 39 (33). P. 3128–3134. Doi: 10.1093/eurheartj/ehy451
20. Castresana G. P., Roldán E. C., García Suastegui W. A., Morán Perales J. L., Cruz Montalvo A., & Silva A. H. Evaluation of Health Risks due to Heavy Metals in a Rural Population Exposed to Atoyac River Pollution in Puebla, Mexico // Water. 2019. Vol. 11 (2). P. 277. URL: <https://doi.org/10.3390/w11020277>.
21. Chowdhury R., Ramond A., O’Keeffe L. M., Shahzad S., Kunutsor S. K., Muka T., Di Angelantonio E. Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis // BMJ. 2018. P. k3310. URL: <https://doi.org/10.1136/bmj.k3310>.
22. Fei X., Lou Z., Christakos G. et al. Environ Geochem Health. 2018. Vol. 40. P. 2481. URL: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0113-0>.
23. Global health risk: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva: World Health Organization; 2009. URL: <http://www.who.int/iris/handle/10665/44203> (дата обращения: 13.03.2020).
24. Lim S. S., Vos T., Flaxman A. D., Danaei G., Shibuya K., Adair-Rohani H., et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010 // Lancet. 2012. Vol. 380 (9859). P. 2224–2260.
25. Mancina G., Fagard R., Narkiewicz K. et al. ESH/ESC Guidelines for the Management of Arterial Hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC) // J. Hypertens. 2013. Vol. 31. P. 1281–1357. URL: <http://hdl.handle.net/1854/LU-3260884> (дата обращения: 13.03.2020).
26. Oyunbileg D., Bolormaa I., Tzolmon U., Chimedsuren O. Environmental and occupational risk factors effect to arterial hypertension: correlation between arterial hypertension and lead // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2015. Vol. 3 (02). P. 60–65.
27. Singh K. Molecular Basis of Hypertension: A Systematic Review on the Role of Metal Ions for Increase Prevalence of Hypertension in India // Journal of Biosciences and Medicines. 2016. Vol. 4. P. 12–22. Doi: 10.4236/jbm.2016.47002
28. Solenkova N. V., Newman J. D., Berger J. S., Thurston G., Hochman J. S., Lamas G. A. Metal pollutants

and cardiovascular disease: Mechanisms and consequences of exposure // *American Heart Journal*. 2014. Vol. 168 (6). P. 812–822. Doi: 10.1016/j.ahj.2014.07.007

29. Sun H. Association of soil potassium and sodium concentrations with spatial disparities of prevalence and mortality rates of hypertensive diseases in the USA // *Environmental Geochemistry and Health*. 2018. Vol. 40 (4). P. 1513–1524. Doi: 10.1007/s10653-018-0068-1

30. Tóth G., Hermann T., Da Silva M. R., Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety // *Environment International*. 2016. Vol. 88. P. 299–309. Doi: 10.1016/j.envint.2015.12.017

References

1. Abdurakhmanov G. M., Erzhapova E. S., Daudova M. G. Correlation between pathology and excess of maximum concentration limit of pollutants in the environment of the Republic of Dagestan. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South of Russia: ecology, development]. 2013, 8 (3), pp. 117-125. [In Russian]

2. Abusuev S. A., Yahyaev M. A., Salikhov Sh. K., Kazanbieva P. D. Iodine in soils and drinking waters of Dagestan and the prevalence of endemic goiter. *Problemy zhenskogo zdorov'ya* [Women's health]. 2016, 11 (1), pp. 26-31. [In Russian]

3. Borisova I. Yu., Makarov V. L., Churina S. K. Blood pressure and mineral metabolism in adolescents (ecological mineral deficiency in drinking water). *Arterial'naya gipertenziya* [Arterial Hypertension]. 2014, 20 (5), pp. 391-400. [In Russian]

4. *Izmerenie massovoi doli elementov (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn) v probakh pochv, gruntov, donnykh otlozhenii i osadkov stochnykh vod* [Measuring the mass proportion of elements (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn) in soil, soil, sediment and wastewater sediment samples]. Method M 03-07-2014. PND F 16.1:2:2:2:3.63-09. Moscow, 2014.

5. Kozhin A. A., Vladimirskii B. M. Microelementoses in Human Pathology of Ecological Etiology. Literature Review. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 9, pp. 56-64. [In Russian]

6. Krysanova T. A., Kotova D. L., Babenko N. K. *Atomno-absorbtsionnaya spektroskopiya* [Atomic absorption spectroscopy]. Voronezh, 2005, 31 p.

7. Lukanova S. G., Yakhyaev M. A., Salikhov Sh. K., Gamzaeva A. U. Effect of several trace elements in soils and water of Dagestan on public health. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2018, 19 (3), pp. 41-48. [In Russian]

8. Makarova T. P., Khabibrakhmanova Z. R., Sadykova D. I. Metabolism of quantity elements and essential trace elements in patients with essential arterial hypertension in different ecological settings. *Kazanskii meditsinskii zhurnal* [Kazan medical journal]. 2013, 94 (6), pp. 798-803. [In Russian]

9. Sadovnikova L. K., Orlov D. S., Lozanovskaya I. N. *Ekologiya i okhrana okruzhayushchei sredy pri khimicheskoy zagryaznenii* [Ecology and environmental protection in chemical pollution]. Moscow, Vyschaya shkola Publ., 2006, 334 p.

10. Salikhov Sh. K., Yakhyaev M. A., Lukanova S. G., Ataev M. G., Kurbanova Z. V., Alimetova K. A. Endemic goiter in Dagestan as a result of iodine and selenium deficiency in objects of its biosphere. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences]. 2014, 19 (5), pp. 1729-1732. [In Russian]

11. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov (s dopolneniyami i izmeneniyami)* [Hygiene requirements for food safety and nutritional value (with additions and changes)]. Moscow, FGUP InterSEN Publ., 2002, 168 p.

12. Terekhina E. A., Gorbachev V. N., Klimentova E. G. Effect of Soil Pollution by Heavy Metal on Human Health in the Ulyanovsk Region. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of New Medical Technologies]. 2013, 20 (3), pp. 66-69. [In Russian]

13. Chuldzhayan Kh., Korveta S., Fatseki Z. *Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh* [Heavy metals in soils and plants]. Bratislava, 1988, iss. 1, pp. 5-24. [In Russian]

14. Shal'nova S. A., Deev A. D. Russian mortality trends in the early XXI century: official statistics data. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* [Cardiovascular Therapy and Prevention]. 2011, 10 (6), pp. 5-10. [In Russian]

15. Yakhyaev M. A., Salikhov Sh. K., Ramazanov A. Sh., Kurbanova Z. V. On the importance of cation content in the biosphere complex for humans. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1: Estestvennye nauki* [Herald of Dagestan State University. Series 1. Natural Sciences]. 2011, 6, pp. 182-185. [In Russian]

16. Yakhyaev M. A., Salikhov Sh. K., Abusuev S. A., Khachirov D. G., Ataev M. G., Abusueva Z. S. Hypertension - a consequence of violations of trace element status of objects of the biosphere. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2016, 17 (2), pp. 10-14. Doi: 10.19112/2413-6174-2016-17-2-10-14. [In Russian]

17. Alghasham A. A., Meki A. R., Ismail H. A. Association of blood lead level with elevated blood pressure in hypertensive patients. *Int J Health Sci (Qassim)*. 2011, 5 (1), pp. 17-27. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3312765> (accessed: 13.03.2020).

18. Böhm M., Schumacher H., Teo K. K., Lonn E., Mahfoud F., Mann J., Yusuf S. Achieved diastolic blood pressure and pulse pressure at target systolic blood pressure (120-140 mmHg) and cardiovascular outcomes in high-risk patients: results from ONTARGET and TRANSCEND trials. *European Heart Journal*. 2018, 39 (33), pp. 3105-3114. Doi: 10.1093/eurheartj/ehy287

19. Byrd J. B., Newby D. E., Anderson J. A., Calverley P. M. A., Celli B. R., Cowans N. J. Blood pressure, heart rate, and mortality in chronic obstructive pulmonary disease: the SUMMIT trial. *European Heart Journal*. 2018, 39 (33), pp. 3128-3134. Doi: 10.1093/eurheartj/ehy451

20. Castresana G. P., Roldán E. C., Garcia Suastegui W. A., Morán Perales J. L., Cruz Montalvo A., & Silva A. H. Evaluation of Health Risks due to Heavy Metals in a Rural Population Exposed to Atoyac River Pollution in Puebla, Mexico. *Water*. 2019, 11 (2), p. 277. Available at: <https://doi.org/10.3390/w11020277>

21. Chowdhury R., Ramond A., O'Keefe L. M., Shahzad S., Kunutsor S. K., Muka T., Di Angelantonio E. Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2018, p. k3310. Available at: <https://doi.org/10.1136/bmj.k3310>

22. Fei X., Lou Z., Christakos G. et al. *Environ Geochem Health*. 2018, 40, p. 2481. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0113-0>

23. Global health risk: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva, World Health Organization, 2009. Available at: <http://www.who.int/iris/handle/10665/44203> (accessed: 13.03.2020).

24. Lim S. S., Vos T., Flaxman A. D., Danaei G.,

Shibuya K., Adair-Rohani H., et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012, 380 (9859), pp. 2224-2260.

25. Mancia G., Fagard R., Narkiewicz K. et al. ESH/ESC Guidelines for the Management of Arterial Hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *J. Hypertens.* 2013, 31, pp. 1281-1357. Available at: <http://hdl.handle.net/1854/LU-3260884> (accessed: 13.03.2020).

26. Oyunbileg D., Bolormaa I., Tsolmon U., Chimedsuren O. Environmental and occupational risk factors effect to arterial hypertension: correlation between arterial hypertension and lead. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2015, 3 (02), pp. 60-65.

27. Singh K. Molecular Basis of Hypertension: A Systematic Review on the Role of Metal Ions for Increase Prevalence of Hypertension in India. *Journal of Biosciences and Medicines*. 2016, 4, pp. 12-22. Doi: 10.4236/jbm.2016.47002

28. Solenkova N. V., Newman J. D., Berger J. S.,

Thurston G., Hochman J. S., Lamas G. A. Metal pollutants and cardiovascular disease: Mechanisms and consequences of exposure. *American Heart Journal*. 2014, 168 (6), pp. 812-22. Doi: 10.1016/j.ahj.2014.07.007

29. Sun H. Association of soil potassium and sodium concentrations with spatial disparities of prevalence and mortality rates of hypertensive diseases in the USA. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018, 40 (4), pp. 1513-1524. Doi: 10.1007/s10653-018-0068-1

30. T th G., Hermann T., Da Silva M.R., Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*. 2016, 88, pp. 299-309. Doi: 10.1016/j.envint.2015.12.017

Контактная информация:

Салихов Шамиль Курамагомедович – научный сотрудник лаборатории почвенных и растительных ресурсов ФГБУН «Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН»

Адрес: 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, д. 45
E-mail: salichov72@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ МАЛОГО АРКТИЧЕСКОГО ГОРОДА

© 2020 г. В. В. Кряучюнас, И. А. Кузнецова, Е. И. Котова, С. А. Игловский, К. А. Мироненко, *С. Г. Суханов

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова Российской академии наук», г. Архангельск; *ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Архангельск

Онежский район входит в первые десять муниципальных образований Архангельской области с максимальным уровнем заболеваемости новообразованиями, проведение многоаспектных радиологических исследований на территории города Онега считаем актуальным. *Цель* данной работы – установить основные закономерности в распределении естественных и техногенных радионуклидов в городских почвах моногорода Онега и выявить основные малоинтенсивные радиоактивные аномалии; дать объективную оценку радиационных рисков и потенциального ущерба здоровью местного населения. *Методы.* Для выполнения поставленной цели проведен отбор проб почв в каждом квартале города с дальнейшим определением удельной активности радионуклидов на гамма-спектрометре «Прогресс». Всего отобрано было 99 проб почв. В процессе исследования применяли почвенно-морфологический, почвенно-геохимический, радиометрический, математико-статистический и картографический методы. *Результаты.* Высокий контраст цвета почв районов индивидуальной и парковой застройки свидетельствует о сохранении их связи с материнской породой. Значения эффективной удельной активности естественных радионуклидов в пробах городских почв находились в диапазоне от 28 до 99 Бк/кг. Впервые выявлены локальные малоинтенсивные аномалии, определен их генезис. Определено, что состав почв города обеспечивает не превышение эффективной удельной активности естественных радионуклидов для материалов I и II классов, используемых в строительстве в пределах населенных пунктов. Намечены возможные пути проведения дальнейших медико-экологических исследований в области изучения связи заболеваний и радиоактивности на территории Онега. *Заключение.* Выявленные малоинтенсивные радиоактивные аномалии можно связать с поступлением радионуклидов в почвы в составе продуктов сжигания угля в котельных города, с учетом активного использования местным населением продуктов сжигания угля необходима оценка длительного влияния малоинтенсивных радиоактивных аномалий на население.

Ключевые слова: малоинтенсивные радиоактивные аномалии, естественные и техногенные радионуклиды, городские почвы, радиационная безопасность населения

NATURAL AND TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN SOILS IN A SMALL RUSSIAN ARCTIC TOWN

V. V. Kriauciunas, I. A. Kuznetsova, E. I. Kotova, S. A. Iglovsky, K. A. Mironenko, *S. G. Sukhanov

N.P.LaverovFederalCenter for Integrated Arctic Research of the RussianAcademy of Sciences, Arkhangelsk;
*Northern StateMedicalUniversity, Arkhangels, Russia

The Onega District is among the first ten municipalities of the Arkhangelsk Region with the highest incidence of neoplasms warranting radiological studies. *The aim* of this research was to study content and distribution of natural and technogenic radionuclides in the urban soils of the Onega municipality and to identify the main low-intensity radioactive anomalies as well as to provide an objective assessment of radiation risks to health of the local population. *Methods:* A total of 99 soil samples were taken in several parts of the town. Specific activity of radionuclides was assessed using a gamma spectrometer. Standard soil-morphological, soil-geochemical, radiometric, mathematical-statistical and cartographic methods were applied. Results. Color contrast of the soils in different areas indicates the preservation of their relationship with the parent soil. The values of the effective specific activity of natural radionuclides in soil samples ranged from 28 to 99 Bq/kg. Low-intensity radioactive anomalies were revealed for the first time in town. It was determined that the composition of the town's soils ensures that the effective specific activity of natural radionuclides is not exceeded for materials of classes I and II used in construction. *Conclusions.* The revealed low-intensity radioactive anomalies can be associated with the influx of radionuclides into the soil as a part of coal combustion products in the local heating stations taking into account the active use of coal combustion products by the local population. It is necessary to assess the long-term effect of low-intensity radioactive anomalies on the population. Further research should concentrate on associations between the epidemiological patterns of diseases and radioactivity in Onega.

Key words: low-intensity radioactive anomalies, radionuclides, urban soils, radiation safety

Библиографическая ссылка:

Кряучюнас В. В., Кузнецова И. А., Котова Е. И., Игловский С. А., Мироненко К. А., Суханов С. Г. Содержание и особенности распределения естественных и техногенных радионуклидов в почвах малого арктического города // Экология человека. 2020. № 5. С. 11–20.

For citing:

Kriauciunas V. V., Kuznetsova I. A., Kotova E. I., Iglovsky S. A., Mironenko K. A., Sukhanov S. G. Natural and Technogenic Radionuclides in Soils in a Small Russian Arctic Town. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 11-20.

Естественная радиоактивность окружающей среды и связанное с ней внешнее облучение, вызванное гамма-излучением, зависят в первую очередь от геологических и географических условий [25]. Город Онега расположен в устье одноименной реки, в 7 км от Онежской губы Белого моря. Город вытянут на 7 км вдоль правого берега реки. В геологическом плане территория города расположена в пределах Нижне-Онегорской депрессии, генезис которой обусловлен пограничным положением между щитом и платформой. В течение мезозоя и третичного времени эта зона подверглась интенсивному эрозионному размыву. В четвертичное время депрессия неоднократно подвергалась переуглублению. В результате чего долина реки Онеги имеет пойменную и две надпойменные террасы. Пойменная терраса — аккумулятивная, первая надпойменная терраса — эрозионно-аккумулятивная, вторая — эрозионная. В районе Нижне-Онегорской депрессии ширина террас достигает максимальных размеров, поэтому территория, на которой расположен город, в морфологическом плане представляет собой слабоволнистую равнину, сложенную песчано-глинистыми отложениями [6].

Фоновое облучение для жителей Северо-Западного региона Российской Федерации (РФ) от всех источников радиации составляет 2,9 мЗв/год, в том числе техногенного происхождения (последствия аварий, испытания ядерного оружия, работа АЭС) — 0,1 мЗв/год [13].

Территория города Онега в геологическом плане имеет низкий радиационный фон, так как кристаллический щит, характеризующийся повышенным содержанием естественных радионуклидов (ЕРН), перекрыт современными аллювиальными осадочными отложениями [6]. Однако в результате антропогенной деятельности в городе формируется техногенно измененный радиоактивный фон, величина которого на отдельных локальных участках достигает 0,15 мкЗв/час (1,3 мЗв/год). Данная величина считается безопасной величиной в большинстве районов РФ.

Климат на территории города умеренный, слабо континентальный с частыми вторжениями циклонов и большим количеством осадков; характеризуется умеренно-тёплым летом (с начала мая по начало октября) и умеренно-мягкой (для северных широт) зимой. Этому способствует приморское положение и влиянием Атлантики. Устойчивый снежный покров образуется в середине ноября и сохраняется до третьей декады апреля. Продолжительность его залегания в Онеге составляет от 150 до 170 дней. Средняя высота снежного покрова может быть от 20 см в декабре до 45 см в середине зимы, максимальных значений достигая в марте. Среднегодовая температура воздуха +2,2 °С. Относительная влажность воздуха 79 %. Средняя скорость ветра 2,4 м/с. В целом за год преобладают ветры юго-восточных направлений (более 60 %), а также южных, восточных и западных направлений (около 40 %). Северные и северо-восточные ветры бывают довольно редко (от 15 до 30 %)

(рис. 1). Характерной особенностью ветрового режима города Онега является отчётливо выраженная в годовом ходе сезонная смена ветров преобладающих направлений. Зимой чаще господствуют юго-восточные и юго-западные ветры, летом — северные и северо-западные [12].

Основу экономики Онежского района составляют предприятия лесопромышленного, агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов, горнодобывающей отрасли, а также пищевой промышленности. Градообразующим предприятием для города Онега является лесопильно-деревообрабатывающий комбинат (ОАО «Онежский ЛДК»). ОАО «Карьер Покровское», расположенный в 20 км от города, занимается добычей и производством щебня, удельная эффективная активность ЕРН полезной толщи соответствует 1 классу строительных материалов, а выпускаемая продукция может применяться для любых видов строительства без ограничения [10]. Предприятий, связанных с ядерным топливным циклом, в городе нет. Потенциальными источниками поступления радионуклидов (РН) в окружающую среду являются предприятия теплоэнергоцентрали, работающие на каменном угле. Одним из источников загрязнения окружающей среды территории также является дальний перенос аэрозолей воздушными массами [20].

По совокупности климатических характеристик и с учётом общебиологического действия природных и антропогенных факторов, их сочетания и степени выраженности территории Арктики в целом могут быть отнесены к зоне дискомфортных районов с элементами выраженной экстремальности по ряду параметров. Природные и антропогенные факторы предъявляют повышенные требования к функциональным системам организма человека, осложняют труд, быт и отдых проживающих здесь людей, являясь факторами риска нарушений здоровья [16].

Известно, что длительное облучение в малых дозах может быть гораздо более опасным по последствиям, чем кратковременное облучение в больших дозах (так называемый эффект Петко) [4]. При этом наиболее чувствительна к малым дозам ионизирующей радиации иммунная система человека [9]. Доказательством негативного воздействия на иммунную систему облучения является повышение заболеваемости различными аллергическими, аутоиммунными, онкологическими заболеваниями на 2–100 % (в зависимости от региона) [5].

Одним из критериев оценки состояния здоровья населения признается анализ первичной заболеваемости [1]. По данным формы № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания медицинской организации» наибольший удельный вес в структуре первичных заболеваний всех групп населения в Онежском районе принадлежит болезням органов дыхания (52,5 %). На втором месте травмы, отравления, несчастные случаи (18 %). Третье ранговое

место занимают болезни органов мочеполовой системы – 7,1 %.

В Онежском районе не отмечается увеличения показателя рождаемости, снижение уровня смертности незначительно и, как следствие этого, более выражено отрицательное значение естественного прироста.

В структуре заболеваемости Архангельской области Онежский район относится к территориям максимального риска по заболеваемости болезнями эндокринной системы у взрослого населения (17,8 %), кроме того, здесь отмечается самый высокий темп прироста данной патологии у детей (216,1 %). Среди совокупного населения в районе за последние пять лет значительно возросла заболеваемость по классу «Болезни костно-мышечной системы» (147,0 %). У взрослого населения района наряду с Архангельском и Виноградовским районом установлены максимальные уровни заболеваемости по классу «Врожденные пороки развития» [14].

В структуре причин смертности населения района ведущее место в целом занимали болезни сердечно-сосудистой системы (62,6 %), затем онкопатология (14,9 %), внешние факторы (11,3 %), болезни органов дыхания (3,3 %), болезни органов пищеварения (5,2 %) и прочие заболевания (2,7 %). Смертность в трудоспособном возрасте была обусловлена заболеваниями сердечно-сосудистой системы (37 %), онкопатологией (12,6 %), внешними факторами (32,6 %), заболеваниями органов дыхания (4,4 %), пищеварения (8,1 %) и прочими причинами (5,2 %). Среди классов болезней, занимающих лидирующее место в качестве причин смерти, отмечается рост новообразований, в 2016 году в районе этот прирост составил +24,2 %.

По данным Росстата, в 2017 году показатели смертности от новообразований в Онежском районе составил 226,9 на 100 тыс. населения (по области – 226,6). Если к уровню 2013 года по области отмечается снижение как абсолютного числа умерших от новообразований (на 206 человек), так и интенсивного показателя (на 6,9 %), то в Онежском районе выявлен незначительный (+3,2 %) рост показателя умерших от новообразований. Среди них доля лиц старше 60 лет составила 72 %.

В 2017 году в Онежском районе наибольший прирост случаев (47,4 %) злокачественных новообразований выявлен у мужчин трудоспособного возраста. Наиболее частыми видами злокачественных новообразований в Онежском районе и области были: опухоли кожи с меланомой (10–12 %), органов дыхания (11 %), желудка (9 %) и ободочной кишки (8 %). У женщин наиболее распространенными видами злокачественных опухолей были рак молочной железы и репродуктивной системы [7].

Учитывая повышение заболеваемости жителей района различными аллергическими, аутоиммунными, онкологическими заболеваниями, являющееся одним из следствий влияния малых доз ионизирующей радиации на иммунную систему человека, проведение

многоаспектных радиологических исследований на территории города Онега считаем актуальным.

Основным объектом исследования был выбран почвенный покров основных функциональных зон города.

Предметом исследования являлась удельная активность ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra в городских почвах.

Цель исследования – выявить на территории моногорода Онега малоинтенсивные аномалии по удельному содержанию ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в почве и на основании полученных результатов дать объективную оценку радиационных рисков и потенциального ущерба здоровью местного населения.

Методы

В процессе исследования применялись почвенно-морфологический, почвенно-геохимический, радиометрический, математико-статистический и картографический методы. На предварительном этапе исследования на территории города Онега были выделены функциональные зоны в соответствии с типом застройки, а также намечена сеть точек отбора почвы (рис. 1).

Отбор проб осуществляли в каждом квартале города путем прикопки верхнего почвенного горизонта в виде прямоугольной ямы с вертикальными стенками глубиной 10–15 см, ориентированной так, чтобы стенка, предназначенная для производства наблюдений и измерений, была наиболее освещенной во время работы. Затем проводили краткое почвенно-морфологическое описание почвы. С помощью цветовой шкалы почв Манселла (версии 2009 г.) [23] определяли цвет влажной почвы при прямом естественном освещении в соответствии с методикой [24].

Проводили отбор верхнего слоя почвы мощностью 5 см вместе с растительностью и включениями антропогенного характера. Отбор, хранение и транспортировка проб почв осуществляли в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84.

Определение физико-химические свойства почвенных образцов включало измерение показателя pH солевой вытяжки почвы согласно ГОСТ 26483-85 с использованием pH-метра-иономера-термооксиметра Эксперт 001, влажности образцов почвы в соответствии с ГОСТ 28268-89 по потере массы навески при высушивании почвы при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ и зольности почвы согласно ГОСТ 27784-88 путем озоления проб почвы в лабораторно-экспериментальной муфельной печи при температуре $(525 \pm 25)^\circ\text{C}$.

Определение гранулометрического состава минеральной части почвы осуществляли ситовым методом. Анализ производили просеиванием навески почвенного образца через набор стандартных сит, различающихся размером ячеек (10 мм, 2 мм, 1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм, 0,1 мм и 0,045 мм). Просеивание почвы выполняли на аналитической просеивающей машине серии Retsch AS 200 Control.

Содержание РН в почвах определяли с помощью гамма-спектрометра «Прогресс» в соответствии с

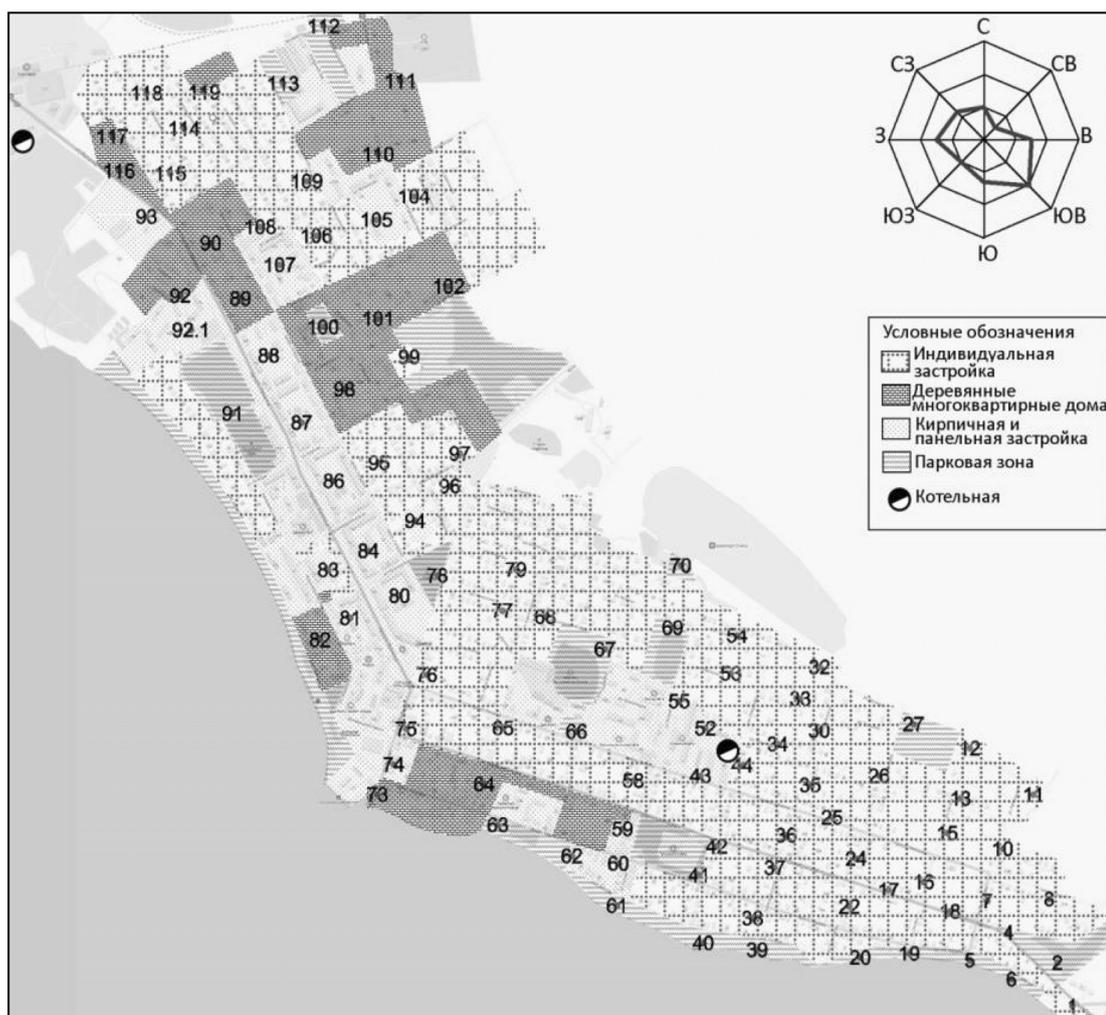


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб

«Методикой измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтиляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения ПРОГРЕСС». Значения удельной активности радионуклидов приведены в Бк/кг в соответствии с системой СИ [17].

Статистическая обработка данных включала расчет среднего арифметического значения, медианы, стандартного отклонения, стандартной ошибки среднего и была произведена с помощью программного обеспечения StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. Кроме того, были рассчитаны коэффициенты парной корреляции R (квадратная матрица), за критический уровень значимости принимали $p < 0,05$. Факторный анализ с применением метода вращения варимакс применялся в целях выявления количества и степени влияния различных параметров среды на исследуемые объекты.

В соответствии с алгоритмом, изложенным в СанПиН 2.6.1.2523-09 [11], была рассчитана эффективная удельная активность ЕРН, содержащихся в верхних горизонтах почв ($A_{эфф}$) по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_{K},$$

где A_{Ra} – удельная активность изотопа радия-226

в пробе, Бк/кг; A_{Th} – удельная активность изотопа тория-232 в пробе, Бк/кг; A_{K} – удельная активность изотопа калия-40 в пробе, Бк/кг.

Построение картосхем пространственного распределения элементов в верхнем пятисантиметровом горизонте почв выполнено с помощью программного обеспечения Surfer (Golden Software, LLC).

Результаты

Почвы города Онега представлены типичными городскими почвами группы квазиземы: урбиквазиземы и реплантоземы [15].

У большинства проб, отобранных на территории города, рН солевой вытяжки почв составил от 5,2 до 6,2 единицы, что говорит о слабокислой среде в почвах.

Средние и медианные значения характеристик почвы приведены в табл. 1.

Гранулометрический состав почв в различных типах городской застройки и их распределение по цвету в соответствии со шкалой Манселла, представлены на рис. 2.

Пространственное распределение радионуклидов в почвах города и участки малоинтенсивных радиоактивных аномалий (МРА) представлены на рис. 3 и 4.

Таблица 1

Средние и медианные значения характеристик почвы

Тип застройки	n*	Влажность, %	Зольность, %	Удельная активность, Бк/кг			
				¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Кирпичная и панельная застройка	20	<u>1,2–12,5</u> ** 3,6±2,7 (2,8)	<u>78,5–98,0</u> 92,3±4,7 (92,9)	<u>0,0–12,6</u> 2,7±3,2 (2,9)	<u>0,0–11,1</u> 2,0±4,1 (0,0)	<u>0,0–25,5</u> 13,5±6,8 (11,4)	<u>308–519</u> 388±49 (382)
Индивидуальная застройка	44	<u>1,1–10,0</u> 3,9±2,0 (3,5)	<u>59,2–97,0</u> 88,3±8,5 (91,2)	<u>0,0–14,2</u> 4,2±3,7 (3,5)	<u>0,0–30,2</u> 6,0±7,8 (0,0)	<u>7,4–37,8</u> 16,9±6,3 (15,9)	<u>187–583</u> 401±101 (408)
Парковые зоны	21	<u>1,3–14,0</u> 4,5±3,1 (3,6)	<u>35,2–97,7</u> 87,4±13,4 (91,9)	<u>0,0–18,5</u> 5,7±4,9 (4,7)	<u>0,0–12,5</u> 2,4±4,5 (0,0)	<u>0,0–26,3</u> 12,3±4,9 (12,2)	<u>91–504</u> 362±98 (384)
Деревянные многоквартирные дома	14	<u>1,0–13,0</u> 3,8±3,0 (3,1)	<u>77,5–99,9</u> 92,0±5,7 (91,9)	<u>0,0–5,1</u> 1,5±2,2 (0,0)	<u>0,0–0,0</u> 0,0±0,0 (0,0)	<u>5,7–23,0</u> 13,2±4,9 (12,8)	<u>226–485</u> 363±72 (356)

Примечание. * – число проб; ** – в числителе: минимальное и максимальное значения, в знаменателе: среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и медиана.

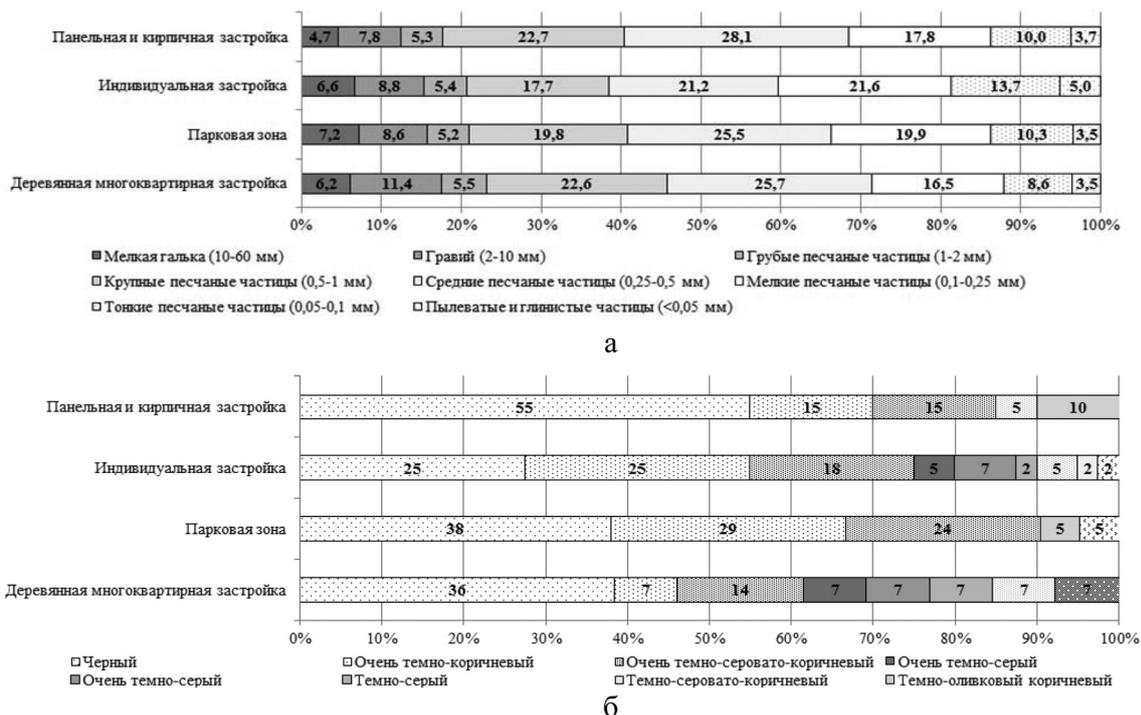


Рис. 2. Характеристика физических свойств почв г. Онга: а – гранулометрический состав, б – цвет почв

Значения эффективной удельной активности ЕРН в пробах почв находились в диапазоне от 28 до 99 Бк/кг.

Корреляционный анализ данных об удельной активности РН в районах различного типа застройки и фракционном составе почв показал наличие значимой связи между удельной активностью ²³²Th и фракциями почвы менее 1 мм в зонах панельной и кирпичной застройки (фракция 0,1–0,045 мм коэффициент корреляции R = 0,7059, p = 0,001, фракция менее 0,045 мм R = 0,5834, p = 0,007) и в зонах застройки многоквартирными деревянными домами (фракция 0,1–0,045 мм R = 0,5437, p = 0,044, фракция менее 0,045 мм R = 0,5713, p = 0,033). В парковых зонах аналогичная зависимость наблюдается для фракции менее 0,045 мм (R = 0,5341, p = 0,013).

Выявлена значимая отрицательная связь между удельной активностью ¹³⁷Cs и зольностью на наименее нарушенных участках: в парковой зоне (R = –0,6352, p = 0,002) и районе индивидуальной застройки (R = –0,5814, p < 0,001).

Корреляционный анализ показал наличие связи между удельной активностью ²³²Th и ⁴⁰K в зонах панельной и кирпичной застройки (R = 0,6225, p = 0,017) и зонах застройки многоквартирными деревянными домами (R = 0,5090, p = 0,022).

Результаты факторного анализа приведены в табл. 2.

Факторный анализ всего массива данных показал наличие трех факторов, два из которых влияют на фракционный состав почвы. Третий фактор отражает отрицательную связь между зольностью и удельной активностью ¹³⁷Cs и, вероятно, связан с проявлением сродства данного РН к органическому веществу почв.

Обсуждение результатов

На большей части рассматриваемой территории широкое распространение получили урбиквазиземы, индикатором которых служит генетический горизонт «урбик» – горизонт аккумуляции и биогенной трансформации органо-минерального и искусственного материала, формирующийся синлитогенно на дневной

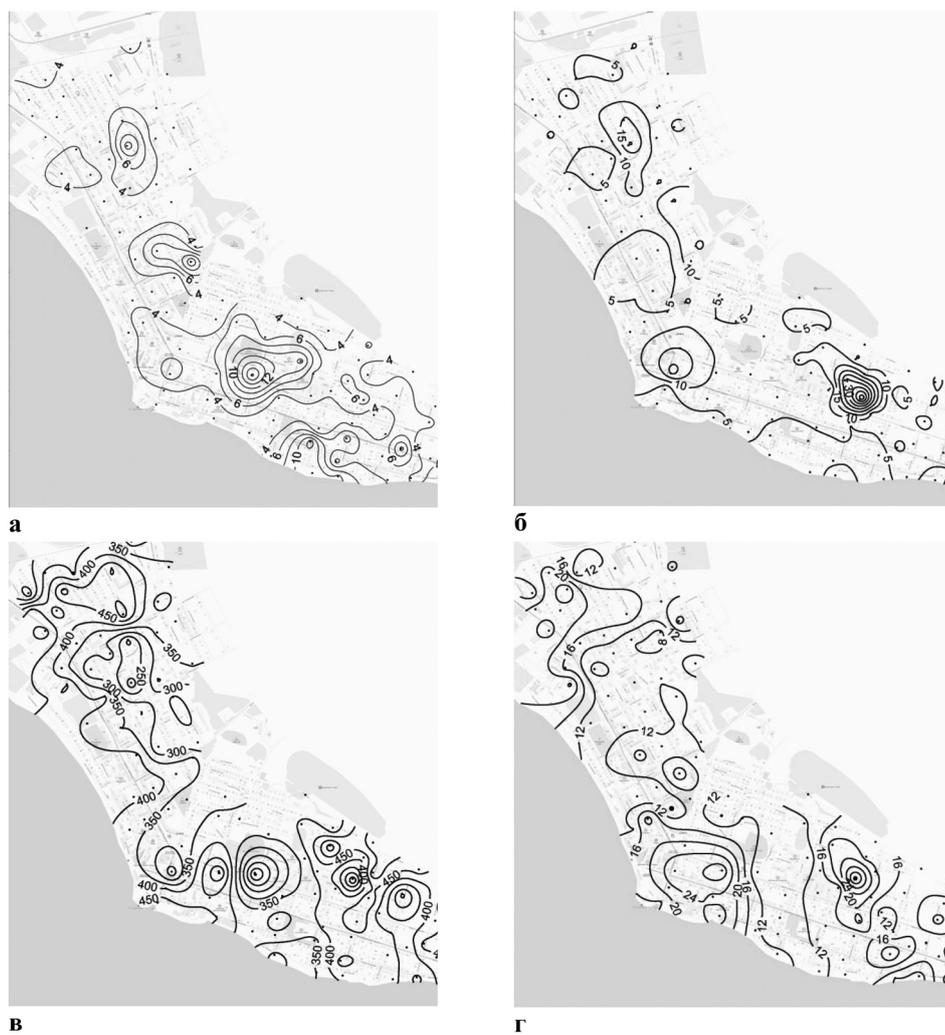
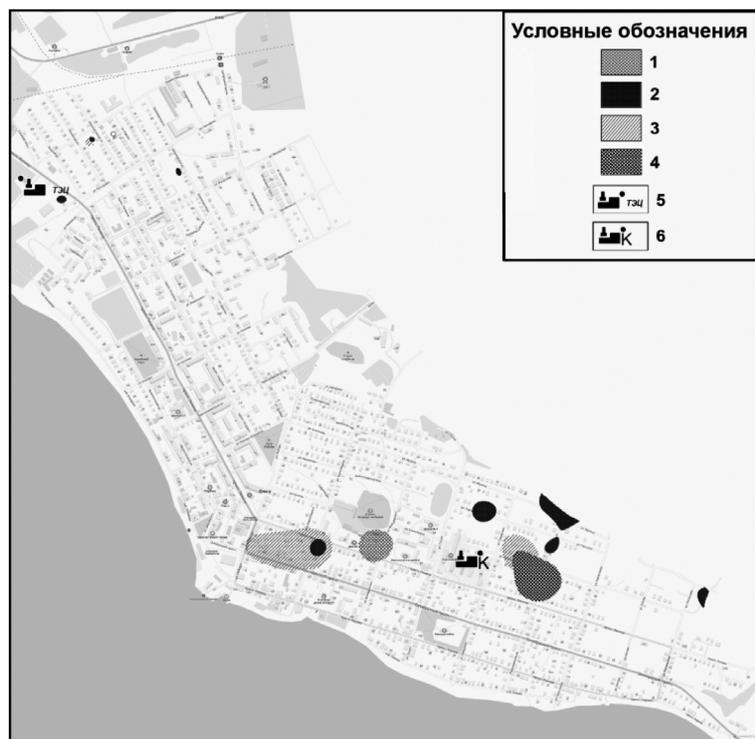


Рис. 3. Пространственное распределение радионуклидов в почвах г. Онега: а – ^{137}Cs , б – ^{226}Ra , в – ^{40}K , г – ^{232}Th



1–4 распределение активности радионуклидов: 1 – ^{137}Cs (>14 Бк/кг), 2 – ^{40}K (>510Бк/кг), 3 – ^{226}Ra (>25Бк/кг), 4 – ^{232}Th (>26 Бк/кг), 5 – ТЭЦ, 6 – котельная

Рис. 4. Малоинтенсивные локальные аномалии

Таблица 2
Факторные нагрузки (отмечены нагрузки > 0,70)

Показатель	Фактор (1)	Фактор (2)	Фактор (3)
Влажность, %	-0,14	0,10	-0,77
pH	-0,11	-0,33	-0,03
Зольность, %	0,08	0,00	0,87
Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	0,20	0,04	-0,74
Удельная активность ^{226}Ra , Бк/кг	-0,18	0,19	-0,41
Удельная активность ^{232}Th , Бк/кг	-0,22	0,66	-0,06
Удельная активность ^{40}K , Бк/кг	0,02	0,45	0,67
Фракция 10 мм, масс. %	-0,51	-0,19	-0,34
Фракция 2 мм, масс. %	-0,87	-0,02	-0,13
Фракция 1 мм, масс. %	-0,76	-0,17	0,20
Фракция 0,5 мм, масс. %	0,20	-0,41	0,15
Фракция 0,25 мм, масс. %	0,59	-0,69	0,17
Фракция 0,1 мм, масс. %	0,71	0,17	-0,04
Фракция 0,045 мм, масс. %	0,32	0,87	0,08
Фракция <0,045 мм, масс. %	0,17	0,83	0,06
Общая дисперсия	2,79	2,98	2,77
Доля общей дисперсии	0,19	0,20	0,18

поверхности под воздействием градостроительной деятельности человека. Данный горизонт характеризуется тем, что содержит не менее 10 % антропогенных включений (строительный и бытовой мусор, угли, слабо разложившиеся растительные остатки и др.). Культурозёмы, как основная подгруппа городских почв [15], получили развитие в старых городских парках и на приусадебных участках, в кварталах с индивидуальной деревянной застройкой. Другая подгруппа искусственно созданных городских почв — реплантоземы — в основном представлена на газонах в кварталах с каменной и деревянной многоквартирной застройкой.

По морфологическим параметрам исследованные почвы города Онега имеют супесчаный механический состав, сильно распылены, переслоены глиной, торфом, бытовым и строительным мусором.

Цвет и влажность почвы являются качественными характеристиками и могут быть связаны с содержанием органического вещества в ней. Так, формирование дернового горизонта в культуроземах способствует активной аккумуляции влаги в поверхностных слоях почвы (см. табл. 1). Для почв каменной и деревянной многоквартирной застройки города характерно отсутствие контрастных цветовых групп, в отличие от почв зоны индивидуальной застройки и парков, что указывает на большую сохранность связи поверхностного слоя почвы с материнским горизонтом (см. рис. 3).

В 38 % изученных проб содержание ^{137}Cs было ниже предела обнаружения. В почвах деревянной многоквартирной застройки удельная активность данного изотопа не превышала значений 5,1 Бк/кг (см. рис. 2а), в зоне кирпичной и панельной — 12,6 Бк/кг, на остальной территории удельная активность не

превышала 18,5 Бк/кг. ^{226}Ra в верхнем почвенном горизонте вблизи деревянных многоквартирных домов не обнаружен. Максимальные значения удельной активности ^{226}Ra в верхнем почвенном горизонте определены в районе индивидуальной застройки к юго-востоку от котельной на уровне 30,2 Бк/кг (см. рис. 2в). Удельное содержание ^{40}K в почвах и грунтах изменяется в широких пределах — от 91 до 583 Бк/кг (см. рис. 2г), при этом наибольший разброс значений характерен для наименее нарушенных почв парковой зоны и индивидуальной застройки.

На территории города выявлен ряд МРА, связанных с повышенной активностью в почве одного или нескольких РН (см. рис. 4). Небольшая по площади МРА ^{137}Cs зафиксирована в верхнем гумусовом горизонте культурозёмов старой парковой зоны при церкви Лазаря Праведного (точка 66, рис. 1, 4). Древесные насаждения выступают в роли «фильтра», улавливая пыль из атмосферного воздуха и повышая концентрацию загрязняющих веществ в почве за счёт опада. Генезис данной аномалии можно объяснить удержанием гумусовыми кислотами в верхнем плодородном слое ^{137}Cs , поступающего в почву с атмосферными осадками и в составе растительного опада [21].

Радиоактивный цезий, поступая во внешнюю среду как основной дозообразующий РН продуктов ядерного деления, становится источником хронического внешнего и внутреннего облучения населения. В организм человека нуклид поступает в основном через органы дыхания и перорально с загрязненными продуктами питания и водой. Преимущественно ^{137}Cs накапливается в мышечной ткани (80 %), скелете (10 %), остальные 10 % относительно равномерно распределяются в других органах и тканях [2].

Малоинтенсивные радиоактивные аномалии ^{232}Th , ^{226}Ra и ^{40}K , расположенные юго-восточнее и восточнее котельных (точка 44, рис. 1, 4), можно связать с поступлением РН в составе продуктов сжигания угля, содержащего естественные радиоактивные вещества уранового, актиноуранового и ториевого рядов (^{226}Ra , ^{232}Th), а также ^{40}K [3, 18]. Данная МРА не представляет опасности для здоровья людей, так как располагается в месте, где население проводит относительно короткий промежуток времени, жилые постройки и выпас скота на рассматриваемой территории отсутствуют. Для снижения воздействия МРА на население рекомендуется удаление опавшей листвы с поверхности почвы и периодическая отсыпка территории плодородным грунтом [22].

Небольшая по площади торий-радиевая МРА (точки 25, 35, 36, рис. 1, 4) зафиксирована рядом с котельной Онежской центральной районной больницы (ОЦРБ). Источником РН, формирующим данную МРА, являются газопылевые выбросы и золошлаковые отходы каменноугольной котельной ОЦРБ. Распространению РН способствует тот факт, что в городе активно используют каменноугольный шлак для отсыпки дорог и «поднятия» придомовых территорий.

Большая по площади МРА ^{226}Ra расположена в центральной части города и занимает территорию нескольких старых кварталов (точки 64, 65, 74, 75, рис. 1, 4). ^{226}Ra является значимым источником внутреннего излучения [26]. При поступлении с продуктами питания и водой ^{226}Ra , замещая кальций, иммобилизуется в костной ткани и зубах человека [19]. В почве на формирование радиевой аномалии может влиять содержащиеся в ней карбонаты и кальций, препятствующие миграции ^{226}Ra вниз по профилю [8]. При изменении pH почвы в кислую область ^{226}Ra становится подвижным вследствие разрушения удерживающих его карбонатов. Для установления генезиса данной МЛА на настоящий момент данных недостаточно.

Эффективная удельная активность ЕРН в почвах города достигает 99 Бк/кг и не превышает показателей $A_{\text{эфф}}$ для материалов I и II классов, используемых в строительстве в пределах населенных пунктов (соответственно 370 и 740 Бк/кг) [11].

Помимо антропогенных источников поступления РН их содержание в почвах связано с такими ее свойствами, как фракционный состав (для ^{234}Th) и содержание органического вещества (для ^{137}Cs). При этом имеет значение степень антропогенного воздействия на неё: выявленные закономерности соблюдаются в наименее нарушенных почвах.

Заключение

Почвы города Онега представлены типичными городскими почвами – урбиквализемами, реплантоземами, имеющими супесчаный механический состав и характеризующиеся сильной распыленностью, переслоением глиной, торфом, бытовым и строительным мусором. Высокий контраст цвета почв районов индивидуальной и парковой застройки свидетельствует о сохранении их связи с материнской породой. Наибольшее влияние на радионуклидный состав почв оказывают ее фракционный состав (^{232}Th) и органическое вещество (^{137}Cs).

Выявленные МРА ^{232}Th , ^{226}Ra и ^{40}K можно связать с поступлением РН в почвы в составе продуктов сжигания угля в котельных города. При этом парковые зоны, выступая в роли «фильтров» атмосферного воздуха, способствуют большему поступлению РН в почвы через опад листьев.

Значения эффективной удельной активности естественных РН в пробах почв находились в диапазоне от 28 до 99 Бк/кг и не превышают показателей $A_{\text{эфф}}$ для материалов I и II классов, однако с учетом активного использования местным населением продуктов сжигания угля необходима оценка длительного влияния МРА на население.

Работа выполнена при финансовой поддержке субсидии на выполнение темы государственного задания «Комплексные изотопно-геохимические исследования качества природной среды и идентификация процессов её трансформации на приморских территориях Европейского Севера в современности и в прошлом» (№ АААА-А19-119011890018-3).

Авторство

Крячюнас В. В. предложил идею статьи, построил карты, участвовал в отборе проб, интерпретации полученных результатов, формулировании окончательных выводов и оценке полученных результатов; Кузнецова И. А. разработала план исследования, участвовала в отборе проб, проводила анализ физико-химических параметров почв, измерение удельной активности, статистический анализ полученных результатов, участвовала в формулировании окончательных выводов и оценке полученных результатов; Котова Е. И. участвовала в измерении удельной активности, интерпретации полученных результатов, формулировании выводов по результатам исследования, формулировании окончательных выводов и оценке полученных результатов, оформила статью по требованиям журнала; Игловский С. А. просеивал почвы, подготовил обзор изученности района исследований, участвовал в интерпретации полученных результатов; Мироненко К. А. участвовал в отборе почв, их физико-химическом анализе, интерпретации полученных данных, построении карт; Суханов С. Г. обработал данные по медицинской статистике.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Крячюнас Вidas Винанто – ORCID 0000-0001-7437-381X
Кузнецова Ирина Андреевна – ORCID 0000-0002-9530-0035

Котова Екатерина Ильинична – ORCID 0000-0001-7442-3311

Игловский Станислав Анатольевич – ORCID 0000-0001-9675-455X

Мироненко Кирилл Андреевич – ORCID 0000-0003-0475-358X

Суханов Сергей Генрихович – ORCID 0000-0002-1792-837X

Список литературы

- Бузинов Р. В., Кикун П. Ф., Унгуриян Т. Н., Ярыгина М. В., Гудков А. Б. От Поморья до Приморья: социально-гигиенические и экологические проблемы здоровья населения. Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2016. 397 с.
- Василенко И. Я., Василенко О. И. Радиоактивный цезий // Энергия: экономика, техника, экология. 2001. № 7. С. 16–22.
- Гордиенко В. А., Показеев К. В., Старкова М. В. Введение в экологию. Главы из книги. М.: НИИЯФ МГУ им. М. В. Ломоносова. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/index.html> (дата обращения: 12.08.2019).
- Грейб Р. Действие малых доз ионизирующего излучения: Эффект Петко // Ядерная энциклопедия. М., 1996. С. 387–394.
- Гуськова А. К., Байсоголов Г. Д. Лучевая болезнь человека. М.: Медицина, 1971. 380 с.
- Девятова Э. И. К геоморфологии бассейна р. Онеги // Труды Коми филиала АН СССР. 1960. № 10. С. 145–155.
- Заболелость населения Архангельской области в 2016 году. Архангельск: МИАЦ, 2017. 124 с.
- Крячюнас В. В. Естественная и техногенная радиоактивность почв Архангельской промышленной агломерации: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Архангельск, 2008. 24 с.
- Крячюнас В. В., Левит М. Л. Изучение связи онкологических заболеваний и радиоактивности на территории Архангельска // Материалы Международной конференции

«Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды», Сыктывкар, 28 сентября – 1 октября 2009 г. С. 246–248.

10. Месторождения Национальной нерудной компании. ООО «Онега Неруд» (ст. Онега, СевЖД). URL: <http://nnk.ru/content/articles/?article=190> (дата обращения: 03.07.2019).

11. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.

12. Общая характеристика климата Архангельской области и Ненецкого автономного округа. URL: <http://sevmeteo.polarpost.ru/files/arh-nao.pdf> (дата обращения: 19.03.2019).

13. Промышленный Север. Атомные технологии и среда обитания. М.: Комтехпринт, 2004. 40 с.

14. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2017 год: доклад. Архангельск: Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области, 2018. 470 с.

15. Техногенные поверхностные образования – ТПО. Систематика техногенных поверхностных образований / Почвенный институт им. В. В. Докучаева. URL: <http://soils.parod.ru/appendices/tpo.html> (дата обращения: 20.04.2019)

16. Чащин В. П., Гудков А. Б., Попова О. Н., Одланд И. О., Ковшов А. А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.

17. AMAP Assessment 2015: Radioactivity in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2015. 89 p.

18. Chibowski S., Solecki J., Szczypa J., Suprynowicz R. Study of radioactive contamination of Eastern Poland // The Science of the Total Environment. 1994. N 158. P. 71–77.

19. Dewit T., Clulow V., Jackson J. S., Mitchel E. J. Uranium and uranium decay series radionuclide dynamics in bone of rats following chronic uranium ore dust inhalation // Health Physics. 2001. N 81. P. 502–513.

20. Kotova E. I., Kuznetsova I. A., Kryauchynas V. V., Iglovsky S. A., Larionov N. S. Contribution of the Atmospheric Channel to Lead Contamination of Soils in the Arctic Territories // Arctic Environmental Research. 2019. Vol. 19, N 2. P. 56–64.

21. Kriauciunas V. V., Iglovsky S. A., Kuznetsova I. A., Shakhova E. V., Bazhenov A. V., Mironenko K. A. Spatial distribution of natural and anthropogenic radionuclides in the soils of Naryan-Mar // Arctic Environmental Research. 2018. Vol. 18, N 3. P. 82–89.

22. Kryauchynas V. V., Iglovsky S. A., Shakhova E. V., Lyubas A. A., Kuznetsova I. A. Low-intensity radioactive anomalies in the city of Arkhangelsk // Human Ecology. 2016. Vol. 44, N 5. P. 9–16.

23. Munsell soil color book. Michigan: Munsell color, 2017.

24. Schoeneberger P. J., Wysocki D. A., Benham E. C. and Soil Survey Staff. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 2012

25. UNSCEAR, Source and effects of ionizing radiations. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000.

26. Wrenn M. E., Durbi P. W., Howar B., Lipsztei J., Rund J., Stil E., Willi D. Metabolism of ingested U and Ra // Health Physics. 1985. N 48. P. 601–633.

References

1. Buzinov R. V., Kiku P. F., Unguryanu T. N., Yarygina M. V., Gudkov A. B. *Ot Pomor'ya do Primor'ya: sotsial'no-gigienicheskie i ekologicheskie problemy zdorov'ya naseleniya* [From Pomorie to Primorye: sociohygienic and environmental problems of public health]. Arkhangelsk, Publishing house of the Northern State Medical University, 2016, 397 p.

2. Vasilenko I. Ya., Vasilenko O. I. Radioactive cesium. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology]. 2001, 7, pp. 16-22. [In Russian]

3. Gordienko V. A., Pokazeev K. V., Starkova M. V. Introduction to ecology. Chapters from the book. *NIIYaF MGU im. M. V. Lomonosova* [NIIYaF Moscow State University M.V. Lomonosov]. 2012. Available at: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/index.html> (accessed: 12.08.2019)

4. Greib R. Deistvie malykh doz ioniziruyushchego izlucheniya: Effekt Petko [The effect of small doses of ionizing radiation: Petko effect]. *Yadernaya entsiklopediya* [Nuclear Encyclopedia]. Moscow, 1996, pp. 387-394.

5. Gus'kova A. K., Baisogolov G. D. *Luchevaya bolezn' cheloveka* [Human radiation sickness]. Moscow, Medicine Publ., 1971, 380 p.

6. Devyatova E. I. To geomorphology of the river basin Oнега. *Trudy Komi filiala AN SSSR* [Transactions of the Komi Branch of the USSR Academy of Sciences]. 1960, 10, pp. 145-155.

7. *Zabolevaemost' naseleniya Arkhangel'skoi oblasti v 2016 godu* [The incidence of the population of the Arkhangelsk region in 2016]. Arkhangelsk, MIAC, 2017, 124 p.

8. Kriauciunas V. V. *Estestvennaya i tekhnogennaya radioaktivnost' pochv Arkhangel'skoi promyshlennoi aglomeratsii (avto-ref. kand. diss)* [Natural and technogenic radioactivity of soils of the Arkhangelsk industrial agglomeration (Author's Abstract of Cand. Diss.)]. Arkhangelsk, 2008, 24 p.

9. Kriauciunas V. V., Levit M. L. Izuchenie svyazi onkologicheskikh zabolevaniy i radioaktivnosti na territorii Arkhangel'ska [The study of the relationship of cancer and radioactivity in Arkhangelsk]. In: *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii «Biologicheskie efekty malykh doz ioniziruyushchei radiatsii i radioaktivnoe zagryaznenie sredy», Syktyvkar, 28 sentyabrya - 1 oktyabrya 2009* [Materials of the International Conference “Biological Effects of Small Doses of Ionizing Radiation and Radioactive Pollution”, Syktyvkar, September 28 - October 1, 2009]. Syktyvkar, 2009, pp. 246-248.

10. *Deposits of the National Non-Metallic Company*. Oнега Nerud LLC (Oнега station, SevZHD). Available at: <http://nnk.ru/content/articles/?article=190> (accessed: 03.07.2019). [In Russian]

11. *Radiation safety standards (NRB-99/2009). Sanitary and epidemiological rules and regulations*. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology, 2009. [In Russian]

12. *General characteristics of the climate of the Arkhangelsk region and the Nenets Autonomous Okrug*. Available at: <http://sevmeteo.polarpost.ru/files/arh-nao.pdf> (accessed: 19.03.2019). [In Russian]

13. *Promyshlennyy Sever. Atomnyye tekhnologii i sreda obitaniya* [Industrial North. Atomic technology and habitat]. Moscow, Komtekhprint, 2004, 40 p.

14. *The state and environmental protection of the Arkhangelsk region for 2017*. Report. Arkhangelsk, Ministry of Natural Resources and Forestry Complex of the Arkhangelsk Region, 2018. 470 p. [In Russian]

15. *Technogenic surface formations - TPO. Systematics of technogenic surface educations*. Soil Institute V. V. Dokuchaev. Available at: <http://soils.narod.ru/appendices/tpo.html> (accessed: 20.04.2019) [In Russian]
16. Chashchin V. P., Gudkov A. B., Popova O. N., Odland J. Ö., Kovshov A. A. Description of Main Health Deterioration Risk Factors for Population Living on Territories of Active Natural Management in the Arctic. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 1, pp. 3-12. [In Russian].
17. AMAP Assessment 2015: Radioactivity in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2015, 89 p.
18. Chibowski S., Solecki J., Szczypa J., Suprynowicz R. Study of radioactive contamination of Eastern Poland. *The Science of the Total Environment*. 1994, 158, pp. 71-77.
19. Dewit T., Clulow V., Jackson J. S., Mitchel E. J. Uranium and uranium decay series radionuclide dynamics in bone of rats following chronic uranium ore dust inhalation. *Health Physics*. 2001, 81, pp. 502-513.
20. Kotova E. I., Kuznetsova I. A., Kryauchunas V. V., Iglovsky S. A., Larionov N. S. Contribution of the Atmospheric Channel to Lead Contamination of Soils in the Arctic Territories. *Arctic Environmental Research*. 2019, 19 (2), pp. 56-64.
21. Kriauciunas V. V., Iglovsky S. A., Kuznetsova I. A., Shakhova E. V., Bazhenov A. V., Mironenko K. A. Spatial distribution of natural and anthropogenic radionuclides in the soils of Naryan-Mar. *Arctic Environmental Research*. 2018, 18 (3), pp. 82-89.
22. Kryauchunas V. V., Iglovsky S. A., Shakhova E. V., Lyubas A. A., Kuznetsova I. A. Low-intensity radioactive anomalies in the city of Arkhangelsk. *Human Ecology*. 2016, 44 (5), pp. 9-16.
23. Munsell soil color book. Michigan, Munsell color, 2017.
24. Schoeneberger P. J., Wysocki D. A., Benham E. C. and Soil Survey Staff. *Field book for describing and sampling soils*, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 2012.
25. UNSCEAR, Source and effects of ionizing radiations. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000.
26. Wrenn M. E., Durbi P. W., Howar B., Lipsztei J., Rund J., Stil E., Willi D. Metabolism of ingested U and Ra. *Health Physics*. 1985, 48, pp. 601-633.

Контактная информация:

Котова Екатерина Ильинична – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова Российской академии наук»
Адрес: 163000, г. Архангельск, Наб. Сев. Двины, д. 109
E-mail: ecorr@yandex.ru

УДК [614.87 + 616-083.98 + 314.48] (470.22)

DOI: 10.33396/1728-0869-2020-5-21-30

ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, ВЫЗОВЫ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ И СМЕРТНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ В ПЕТРОЗАВОДСКЕ

© 2020 г. Д. С. Рыбаков, Б. З. Белашев

ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», г. Петрозаводск

Цель работы – оценить влияние погодных факторов, загрязнения атмосферного воздуха на частоту вызовов скорой медицинской помощи (СМП) и смертность жителей северного города Петрозаводска. *Методы.* Изучены линейные корреляционные связи между месячными значениями указанных внешних факторов, частотой вызовов СМП по поводу сердечно-сосудистых заболеваний и общей смертностью, построены графики многолетней зависимости показателей смертности от количества выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников. *Результаты.* Отмечен рост среднесезонной температуры атмосферного воздуха с +3,1 °С (1994–2001) до +3,8 °С (2002–2017) и повторяемости северо-западного направления ветра (ПсЗНВ) за те же периоды в среднем на 29,5 %. Это направление ветра соответствует вытянутости города и является проблемным из-за распространения по нему выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников на территорию с наибольшей численностью населения. Для периода 2002–2017 гг. отмечена сильная статистическая зависимость между годовым количеством выбросов и коэффициентами смертности – общим и от болезней системы кровообращения. С температурным (сезонным) фактором статистически значимо (от $p < 0,001$ до $p = 0,034$) связана частота вызовов СМП по поводу эссенциальной гипертензии, стенокардии (2015–2017) и хронической ишемической болезни сердца (2016, 2017). Для трехлетнего периода 2015–2017 гг. выявлена положительная корреляция между ПсЗНВ и числом обращений за СМП по поводу острого инфаркта миокарда ($p = 0,015$) и инсульта ($p = 0,011$). *Выводы.* Результаты исследования указывают на необходимость учета влияния погодных условий и загрязнения атмосферы на частоту вызовов СМП и динамику смертности населения.

Ключевые слова: погодные факторы, выбросы в атмосферу, вызовы скорой медицинской помощи (СМП), сердечно-сосудистые заболевания, коэффициенты смертности, коэффициенты линейной корреляции

WEATHER CONDITIONS, AIR POLLUTION, EMERGENCY CALLS AND POPULATION MORTALITY IN PETROZAVODSK

D. S. Rybakov, B. Z. Belashev

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

The aim of the present study is to assess the associations between weather factors, atmospheric air pollution and the number of emergency medical calls (EMC) and population mortality Petrozavodsk, Northwest Russia. *Methods.* Linear correlations between the monthly values of external factors, the number of EMC for people with cardiovascular diseases and the total mortality were studied. Graphs of the long-term associations between mortality rates and pollutant emissions from stationary sources were constructed. *Results.* Long-term average annual temperature of atmospheric air increased from +3.1 °C (1994-2001) to +3.8 °C (2002-2017) and the frequency of northwestern wind (FNWWD) increased by an average of 29.5 % during the same periods. This wind direction is associated with health-related problems in the city related to the spread of emissions from stationary contamination sources. A strong statistical relationship between the annual amount of emissions and mortality coefficients (total and from diseases of the circulatory system) for the period 2002-2017 was observed. A temperature (seasonal) factor is statistically significantly (from $p < 0.001$ to $p = 0.034$) associated with frequency of EMC for essential hypertension, angina pectoris (2015-2017) and chronic coronary heart disease (2016, 2017). A positive correlation between FNWWD and the number of EMC for people with acute myocardial infarction ($p = 0.015$) and stroke ($p = 0.011$) for a three-year period (2015-2017) was revealed. *Conclusions.* The results of the study indicate the need to take into account the influence of weather conditions and air pollution on the frequency of emergency medical calls and the patterns of mortality in urban settings.

Key words: weather factors, air emissions, emergency medical calls (EMC), cardiovascular diseases, mortality rates, linear correlation coefficients

Библиографическая ссылка:

Рыбаков Д. С., Белашев Б. З. Погодно-климатические условия, загрязнение атмосферного воздуха, вызовы скорой медицинской помощи и смертность населения в Петрозаводске // *Экология человека*. 2020. № 5. С. 21–30.

For citing:

Rybakov D. S., Belashev B. Z. Weather Conditions, Air Pollution, Emergency Calls and Population Mortality in Petrozavodsk. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 21-30.

Важными внешними факторами, влияющими на здоровье человека, являются погода и климат. В эпоху техногенеза выделяют две стороны такого влияния: длительное изменение климата, в том числе температурного и ветрового режимов атмосферы, и усиление

или ослабление воздействия составляющими погоды и климата на организм и целые популяции загрязненной окружающей среды [6, 8, 13, 14, 16, 17, 19].

Резкие понижения температуры в сочетании с перепадами давления атмосферы в зимний и весенний

периоды увеличивают число обращений за скорой медицинской помощью (СМП) в связи с гипертонической болезнью [12]. Сезонная динамика частоты вызовов СМП по поводу гипертонического криза с максимумом в зимний период и минимумом в летний отмечена также в [2]. Существует отрицательная корреляция между среднесуточной температурой воздуха и обращаемостью пациентов за СМП в связи с ухудшением самочувствия на фоне повышения артериального давления. Пиковое увеличение частоты обращений наблюдается при температурах ниже -10°C [1].

Артериальная гипертензия является одним из основных факторов риска развития ишемической болезни сердца (ИБС), включая инфаркт миокарда, и главной причиной цереброваскулярных заболеваний, в частности мозгового инсульта [4]. Эти заболевания чаще всего рассматриваются в связи с общей и сердечно-сосудистой смертностью. Уровень общей смертности, смертности от ИБС и инфаркта миокарда, цереброваскулярных болезней наряду с респираторными заболеваниями в настоящее время максимален зимой (январь, февраль) и минимален летом (июнь, август) [5].

Последние данные по Ирану [18] показали, что случаи острого коронарного синдрома в значительной степени связаны с изменениями погоды, причем особенно сильно при «переходе от холодной к жаркой погоде» в марте, апреле и мае. При этом в качестве переменных, положительно коррелирующих со случаями данного состояния организма, названы скорость ветра, суточное испарение, максимальная и минимальная относительная влажность воздуха.

Актуальность исследований, проводимых на Северо-Западе России в условиях глобальных и региональных природно-климатических изменений, связана с подтверждением статуса территорий с неблагоприятными метеорологическими условиями. Среди таких территорий значится Республика Карелия. По данным Л. Е. Назаровой [7], в районе Онежского озера дискомфортность климата в основном определяется низкими температурами в сочетании со значительным количеством облачности и высокой влажностью воздуха. Эффект улучшения дает регулирование антропогенной деятельности. Так, наиболее вероятной причиной снижения риска избыточной смертности в Республике Карелия и городе Петрозаводске, в том числе от болезней системы кровообращения, является сокращение выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников [9, 10].

Данная работа нацелена на выявление воздействий погодных и экологических факторов на здоровье жителей Петрозаводска. Исследованы зависимости между показателями, характеризующими эти факторы, числом вызовов СМП по поводу заболеваний сердечно-сосудистой системы, а также показателями смертности населения.

Методы

Из погодных факторов рассмотрены: температура атмосферного воздуха, амплитуды колебания темпе-

ратуры, давление атмосферы, перепады давления, влажность, облачность, скорость ветра, количество атмосферных осадков. Привлечены данные о повторяемости северо-западного направления ветра (диапазон СЗ $300-330^{\circ}$) (ПсЗНВ), совпадающего с вытянутостью города вдоль берега Онежского озера. По данному направлению загрязняющие вещества распространяются от основных стационарных объектов Северной промышленной зоны, Петрозаводской ТЭЦ и РАО «РЖД» на территорию с наибольшей численностью городского населения [9, 10]. Все численные значения получены или рассчитаны по данным метеостанции «Петрозаводск», доступным на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных [11].

Количество вызовов СМП по Петрозаводску по поводу сердечно-сосудистых заболеваний – индексы МКБ-10: эссенциальная (первичная) гипертензия (I10), стенокардия (I20), острый инфаркт миокарда (I21), хроническая ИБС (I25), инсульт (I60-64) – рассчитывали по обезличенному каталогу 2015–2017 гг. (кроме данных с 20 по 31 декабря 2017 г.), предоставленному ГБУЗ РК «Больница скорой медицинской помощи» Петрозаводска. Данные по ежемесячному общему количеству случаев смерти за этот же период, а также годовому количеству случаев смерти за длительный период получены в Территориальном органе Федеральной службы государственной статистики по Республике Карелия (<http://krl.gks.ru/>).

Ежемесячные значения частоты вызовов СМП и смертности рассчитывали с учетом коэффициента годового выражения и среднегодовой численности населения. За коэффициент годового выражения принимали отношение количества дней в году к количеству дней в исследуемом периоде (месяце). По данным Росстата (http://www.gks.ru/scripts/db_inet2/passport/munr.aspx?base=munst86), среднегодовая численность населения Петрозаводского городского округа составила (человек): 276 229 (2015 г.), 277 831 (2016) и 278 871 (2017).

Соответствующие графические модели строили для выявления многолетней (2000–2017) зависимости между годовыми значениями суммарного количества выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников и коэффициентами смертности населения – общим (ОКС) и от болезней системы кровообращения (КС_{БСК}). При этом определяли и учитывали вероятное влияние ПсЗНВ на данную зависимость.

Для статистической обработки использован пакет «Анализ данных» программного продукта Microsoft Excel. Соответствие распределений данных нормальному закону проверяли с помощью показателей асимметрии и эксцесса по правилу трех сигм. Для оценки статистических связей рассчитывали значения коэффициента корреляции Пирсона. Для нелинейных связей по графикам зависимостей рассчитывали уравнения регрессии и коэффициенты детерминации, характеризующие степень адекватности статистических

моделей. Уровень значимости вычислений принимали не ниже $p = 0,05$.

Результаты

Характеристики погоды

Температура атмосферного воздуха. Средне-суточная температура воздуха изменялась от $-17,5$ до $+19,0$ °C (2015), от $-26,2$ до $+22,9$ °C (2016) и от $-28,8$ до $+20,3$ °C (2017). Самыми холодными в 2015 г. были январь, февраль и декабрь, в 2016 г. – январь, декабрь и ноябрь, в 2017 г. – февраль, январь и декабрь, самыми теплыми за весь период – летние месяцы (табл. 1). В связи с потеплением климата на изученной территории наблюдается рост

среднегодовых температур (табл. 2). В табл. 3 приведены коэффициенты линейной корреляции между значениями среднемесячной температуры воздуха и показателями других погодных факторов.

Суточные амплитуды температуры. Максимальные амплитуды составили: $15,2$ °C (20 августа 2015 г.), $17,2$ °C (1 мая 2016 г.) и $16,2$ °C (17 июня 2017 г.), минимальные: $0,5$ °C (17 января 2015 г., 11 декабря 2017 г.), $0,4$ °C (23 декабря 2016 г.). Среднемесячные значения были максимальными в мае (2015 и 2016 гг.), а также в июне (2017), минимальными – в ноябре (2015 и 2016 гг.) и декабре (2017) (см. табл. 1).

Таблица 1

Месячные значения погодных факторов

Месяц	Температура атмосферного воздуха, °C	Суточные амплитуды колебания температуры, °C	Давление атмосферы на уровне моря, гПа	Суточные перепады давления, гПа	Относительная влажность воздуха, %	Общая облачность, баллы	Облачность нижнего яруса, баллы	ПсЗНВ, %	Скорость ветра всех направлений, м/с	Количество атмосферных осадков, мм
2015 г.										
1	-7,1	3,8	1005,9	8,7	88,3	8,7	4,4	2,4	3,2	42,8
2	-2,7	4,7	1009,6	9,5	85,0	7,7	4,2	7,1	3,7	39,0
3	+0,7	5,6	1021,0	8,3	70,2	6,0	2,6	8,5	3,4	17,0
4	+2,2	5,2	1006,1	8,1	76,9	8,2	3,1	12,9	3,1	36,4
5	+10,4	8,4	1011,5	5,2	67,1	7,1	2,6	7,7	2,9	60,9
6	+14,2	7,1	1010,9	4,6	65,0	7,3	3,1	5,8	3,0	48,9
7	+14,3	6,6	1007,2	4,3	79,7	8,2	3,7	9,7	2,2	80,9
8	+15,4	7,8	1018,3	4,4	74,7	5,9	2,4	7,3	2,5	65,4
9	+11,8	5,8	1018,0	5,7	84,8	7,5	2,6	5,4	2,3	35,7
10	+3,5	3,9	1018,7	7,5	85,0	8,2	4,0	12,5	3,2	17,1
11	+0,1	2,7	1006,6	7,0	91,6	9,0	6,3	4,6	3,3	49,7
12	-1,6	3,5	1007,3	10,3	90,5	8,3	4,3	8,1	3,3	55,0
2016 г.										
1	-14,9	5,3	1012,5	6,7	84,5	7,4	2,0	7,3	2,5	64,6
2	-2,3	3,3	1006,0	7,3	84,1	8,7	3,8	1,7	3,5	23,7
3	-1,3	5,4	1014,9	4,3	72,8	7,6	2,9	10,5	3,2	11,2
4	+3,5	6,8	1011,6	4,2	74,9	7,3	2,7	13,8	2,8	49,6
5	+12,7	9,2	1017,7	3,7	59,4	5,1	2,0	6,5	2,5	36,9
6	+14,2	7,8	1012,5	5,5	70,8	7,3	3,9	7,9	2,9	71,0
7	+18,4	6,0	1008,6	3,9	80,8	7,5	4,4	6,0	2,4	122,8
8	+15,3	6,4	1013,3	6,1	82,4	7,6	4,3	10,5	2,6	202,5
9	+10,0	4,7	1014,3	5,8	83,6	8,5	5,0	9,2	2,6	48,6
10	+2,8	3,5	1030,2	5,3	84,8	8,6	5,9	9,3	2,7	12,3
11	-4,3	2,7	1015,4	7,0	89,7	9,6	6,6	9,2	3,3	62,4
12	-4,4	3,4	1006,9	9,0	91,3	8,9	5,9	6,0	3,7	49,6
2017 г.										
1	-7,3	4,6	1013,0	7,5	86,9	7,7	5,6	9,7	3,3	29,0
2	-7,5	6,5	1015,0	8,9	85,3	7,5	3,8	11,2	2,9	26,0
3	-1,0	4,7	1009,8	6,5	79,4	7,1	3,8	7,7	3,3	21,7
4	+0,2	5,7	1009,5	8,2	75,7	7,6	4,3	9,6	3,3	58,2
5	+5,0	6,9	1015,8	6,6	64,6	7,0	3,4	14,5	2,8	41,1
6	+11,7	7,5	1005,4	4,9	68,5	7,0	2,9	10,4	2,9	68,1
7	+15,5	6,5	1008,9	3,3	79,2	7,9	4,4	13,3	2,3	74,7
8	+15,8	5,9	1012,4	5,1	80,0	7,8	3,6	3,2	2,6	62,6
9	+9,8	3,6	1020,0	6,0	88,7	8,6	5,3	6,3	2,5	138,4
10	+3,2	2,9	1009,7	7,0	89,9	9,0	5,0	8,1	2,7	45,1
11	-0,2	2,9	1009,8	5,0	90,6	9,1	6,1	4,2	3,0	36,8
12	-1,9	2,0	1005,3	7,5	92,2	9,7	5,6	4,4	3,0	60,2

Таблица 2
Среднегодовые значения температуры атмосферного воздуха, ПсзНВ и годовые суммы атмосферных осадков в районе г. Петрозаводска

Год	Температура воздуха, °С	ПсзНВ, %	Сумма осадков, мм
1994	+2,6	6,20	629,5
1995	+3,9	5,41	597,2
1996	+2,7	5,33	480,6
1997	+2,6	8,46	554,3
1998	+2,1	6,34	651,0
1999	+3,3	5,65	527,0
2000	+4,6	5,81	660,8
2001	+3,0	6,47	659,5
2002	+3,2	8,49	489,0
2003	+3,5	9,73	681,3
2004	+3,4	8,85	719,0
2005	+4,3	6,27	556,6
2006	+3,4	7,16	603,9
2007	+4,2	7,43	573,2
2008	+4,4	6,76	710,4
2009	+3,3	7,84	696,2
2010	+2,6	8,97	593,6
2011	+4,3	8,84	625,0
2012	+2,8	7,48	710,9
2013	+4,5	8,01	542,5
2014	+4,7	7,88	451,8
2015	+5,1	7,67	548,8
2016	+4,1	8,16	755,2
2017	+3,6	8,50	661,9

Примечания: 1. Средние арифметические значения температуры воздуха: +3,1 °С (1994–2001), +3,8 °С (2002–2017). 2. Средние геометрические значения ПсзНВ: 6,15 и 7,96 % соответственно. 3. Средние арифметические значения суммы осадков: 595,0 и 620,0 мм соответственно.

Давление атмосферы за исследуемый трехлетний период в большей степени изменялось в 2015 г. – от 964,8 гПа (3 января) до 1 052,3 гПа (16 марта) (норма 1 013,25 гПа). Рассчитанные годовые средние арифметические и геометрические значения оказались близки и составили 1 011,1–1 013,7 гПа. Среднемесячные значения приведены в табл. 1.

Перепады атмосферного давления в течение отдельных суток достигали исключительно высоких значений (гПа): 29,0–29,1 (3 октября и 7 декабря

2015 г.), 23,3–24,3 (26 ноября и 28 декабря 2016 г.) и 27,1–26,6 (26 марта и 23 декабря 2017 г.). В среднем наибольшие колебания характерны для холодных месяцев, наименьшие – для теплого времени года (см. табл. 1). Соответственно зафиксирована обратная корреляция между нормально распределенными значениями среднемесячной температуры воздуха и перепадов давления (см. табл. 3).

Влажность. Суточная относительная влажность атмосферного воздуха в течение 2015–2017 гг. варьировала от 32,3 до 98,1 %. Наиболее влажными были зимние и осенние месяцы (см. табл. 1). Вместе с тем сильная отрицательная корреляционная связь установлена между среднемесячными значениями влажности и суточной амплитуды температуры ($r = -0,860$; $p < 0,001$), а для самой температуры эта связь оказалась значительно слабее (см. табл. 3).

Облачность. В качестве показателей рассчитаны количества общей облачности и облачности нижнего яруса. Максимальные среднемесячные значения отмечены для ноября, декабря и января (см. табл. 1). Исключение составляет морозный январь 2016 г., когда количество нижней облачности было небольшим. Среднемесячные значения в большей степени связаны не с температурой воздуха (см. табл. 3), а с ее амплитудой ($r = -0,853$ и $-0,764$; $p < 0,001$ для общей и нижней облачности соответственно), а также относительной влажностью воздуха ($r = 0,811$ и $0,731$; $p < 0,001$).

Направление ветра. В Петрозаводске переносу выбросов от основных стационарных источников на большую часть жилой застройки способствует ветер северо-западного направления [9, 10]. В 2002–2015 гг. по сравнению с 1994–2001 гг. его среднемноголетняя повторяемость возросла на 29,5 % (см. табл. 2). Особенных закономерностей в распределении ПсзНВ по месяцам не наблюдается (см. табл. 1).

Скорость ветра. Для района Петрозаводска среднесуточная скорость ветра разных направлений изменялась: в 2015 г. от 0,6 до 7,3 м/с (27 августа и 28 ноября соответственно), в 2016 г. – от 0,5 до 6,6 м/с (25 и 8 ноября), в 2017 г. – от 0,9 до 6,5 м/с (6 декабря и 20 января). Среднемесячные значения выше в холодные месяцы, кроме очень морозного января 2016 г. (см. табл. 1, 3), и для периода 2015–2017 гг. положительно коррелируют со среднемесячными значениями перепадов давления

Таблица 3
Коэффициенты линейной корреляции между среднемесячными значениями температуры атмосферного воздуха и показателями других погодных факторов

Год	Суточные амплитуды колебания температуры, °С	Давление атмосферы на уровне моря, гПа	Суточные перепады давления, гПа	Относительная влажность воздуха, %	Общая облачность, баллы	Облачность нижнего яруса, баллы	ПсзНВ, %	Скорость ветра всех направлений, м/с	Количество атмосферных осадков, мм
2015–2017	0,577	0,122*	-0,695	-0,475	-0,358	-0,257	0,068	-0,636	0,463*
2015	0,805	0,346	-0,922	-0,588	-0,482	-0,579	0,143	-0,809	0,487
2016	0,584	0,055*	-0,558	-0,466	-0,403*	0,008	0,105	-0,490	0,400*
2017	0,350	-0,026	-0,809	-0,380	-0,116	-0,376	-0,001	-0,758	0,712*

Примечания: * – для значений показателей других погодных факторов выбран логнормальный закон распределения; полужирным выделены статистически значимые коэффициенты корреляции: $p = 0,000–0,032$ (2015–2017) и $p = 0,000–0,049$ (по годам).

($\gamma = 0,705$; $p < 0,001$), в меньшей степени – амплитуды колебания температуры ($\gamma = -0,449$; $p = 0,006$).

Атмосферные осадки. Меньшее количество осадков в течение 2015–2017 гг. выпало в марте, большее – в теплые месяцы (см. табл. 1). Самый сильный ливень зафиксирован 8 августа 2016 г. (43,4 мм). При этом корреляции для отдельных лет различаются (см. табл. 3). Количество выпавших атмосферных осадков в многолетней динамике особенно сильно варьировало в последние годы (см. табл. 2).

Выбросы загрязняющих веществ

Количество годовых выбросов в атмосферу от всех стационарных источников г. Петрозаводска снизилось за период 2000–2012 гг. в 3,5 раза (до 3 150 т) [10]. В последующие три года оно находилось в пределах от 2 577 до 3 525 т [3].

Согласно имеющимся данным, основу общей массы выбросов в период 2000–2006 гг. составили (%): диоксид серы (31–54), монооксид углерода (19–29), оксиды азота (9,5–16) и твердые вещества (8,5–21), а в период 2007–2009 гг. – монооксид углерода (28–33), оксиды азота (24–28), твердые вещества (14–22), диоксид серы (8,7–19) [10].

Таким образом, для г. Петрозаводска характерно не только общее долговременное снижение выбросов от стационарных источников, но и качественное изменение структуры выбрасываемых загрязняющих веществ.

Обращения за СМП по поводу сердечно-сосудистых заболеваний

За исследованный трехлетний период учтено 60 118 вызовов СМП по поводу сердечно-сосудистых заболеваний по восьми нозологическим формам.

Эссенциальная гипертензия (38 007 вызовов). Максимальное относительное количество вызовов (здесь и далее приведены интенсивные показатели с учетом среднегодовой численности населения и коэффициента годового выражения) отмечено в январе 2017 г. (5,59 %), минимальное – июле 2016 г. (3,66 %). Среднее арифметическое за весь период составило ($4,62 \pm 0,084$) %: 2015 г. – ($4,71 \pm 0,117$) %, 2016 г. – ($4,49 \pm 0,166$) %, 2017 г. – ($4,65 \pm 0,151$) %.

Стенокардия (6 839 вызовов). Максимальное относительное количество вызовов отмечено в феврале 2015 г. (1,14 %), минимальное – августе 2016 г. (0,53 %). Среднее арифметическое за весь период составило ($0,83 \pm 0,022$) %: 2015 г. – ($0,93 \pm 0,030$) %, 2016 г. – ($0,79 \pm 0,038$) %, 2017 г. – ($0,78 \pm 0,031$) %.

Острый инфаркт миокарда (1 430 вызовов). Максимальное относительное количество вызовов отмечено в ноябре 2016 г. (0,242 %), минимальное – феврале и декабре 2016 гг. (0,127 %). Среднее арифметическое за весь период составило ($0,173 \pm 0,0048$) %: 2015 г. – ($0,163 \pm 0,0079$) %, 2016 г. – ($0,173 \pm 0,0092$) %, 2017 г. – ($0,184 \pm 0,0071$) %.

Хроническая ИБС (7 573 вызовов). Максимальное относительное количество вызовов отмечено в марте 2015 г. (1,35 %), минимальное – июле 2017 г. (0,61 %). Среднее арифметическое за весь период составило ($0,92 \pm 0,036$) %: 2015 г. – ($1,16 \pm 0,036$) %, 2016 г. – ($0,82 \pm 0,033$) %, 2017 г. – ($0,78 \pm 0,039$) %.

Инсульт (6 269 вызовов, из них 92,3 % по поводу инсульта, не уточненного как кровоизлияние или ин-

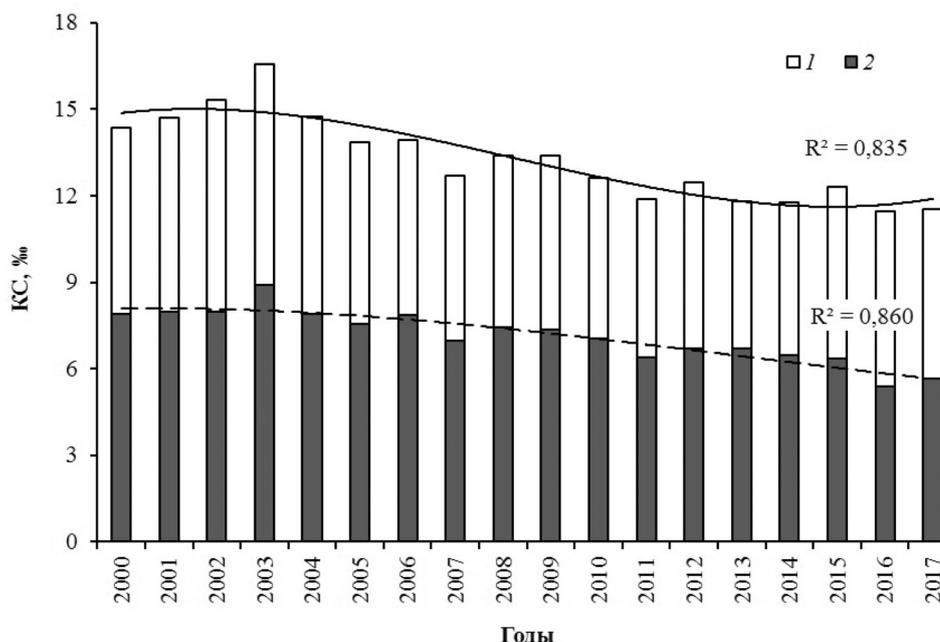


Рис. 1. Динамика смертности населения Петрозаводска в 2000–2017 гг. (данные за 2000–2012 гг. приведены по [9], за 2013–2017 гг. предоставлены Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Республике Карелия): коэффициенты смертности (КС): 1 – общий (ОКС), 2 – от болезней системы кровообращения; линии трендов – полиномиальные третьего порядка; R^2 – коэффициенты детерминации

фаркт, 3,43 % – субарахноидального кровоизлияния, 2,57 % – инфаркта мозга и 1,69 % – внутримозгового кровоизлияния). Максимальное относительное количество вызовов отмечено в октябре 2017 г. (0,90 %), минимальное – августе 2017 г. (0,58 %). Среднее арифметическое за весь период составило $(0,75 \pm 0,014)$ %: 2015 г. – $(0,74 \pm 0,020)$ %, 2016 г. – $(0,74 \pm 0,025)$ %, 2017 г. – $(0,77 \pm 0,028)$ %.

В сумме по восьми нозологическим формам максимальное относительное количество вызовов СМП зафиксировано в апреле 2015 г. (8,79 %), минимальное – июле 2016 г. (5,72 %). Среднее арифметическое за весь период составило $(7,30 \pm 0,129)$ %: 2015 г. – $(7,72 \pm 0,165)$ %, 2016 г. – $(7,01 \pm 0,235)$ %, 2017 г. – $(7,18 \pm 0,225)$ %.

Смертность. Годовая смертность населения Петрозаводска была максимальной в 2003 г. (16,55 ‰), минимальной – в 2016 г. (11,46 ‰) (рис. 1). Общий коэффициент смертности тесно коррелирует с коэффициентом смертности от болезней системы кровообращения ($r = 0,945$; $p < 0,001$). В 2017 г. от этих болезней умерло 48,9 % от общего числа умерших. В 2013 г. это количество было максимальным за период 2000–2017 гг. и составляло 56,8 %.

Таблица 4

Уровни месячной общей смертности населения Петрозаводска в годовом выражении за период 2015–2017 гг.

Месяц	ОКС _{гв} , ‰			Средние значения (2015–2017)
	2015	2016	2017	
1	12,24	13,51	13,44	13,06
2	12,84	10,90	11,94	11,89
3	13,26	11,01	12,64	12,30
4	12,12	11,11	11,06	11,43
5	13,22	10,62	11,76	11,87
6	10,75	10,80	11,71	11,09
7	11,38	11,60	10,49	11,16
8	11,90	11,98	11,76	11,88
9	12,47	12,25	11,67	12,13
10	12,36	11,43	10,57	11,46
11	12,82	12,12	11,06	12,00
12	12,28	10,20	10,53	11,00
Год (ОКС)	12,30	11,46	11,55	11,77

В последние три года наибольшей смертностью отличался январь 2016 г., наименьшей – декабрь 2016 г. (табл. 4). В 2015 г. для жителя Петрозаводска риск

Таблица 5

Статистически значимые коэффициенты линейной корреляции между месячными значениями показателей погоды и числом обращений за СМП по поводу сердечно-сосудистых заболеваний за 2015–2017 гг.

Показатель	I10	I20	I21	I25	I60-64	I	ОКС _{гв}
2015–2017 гг. ($p = 0,000–0,049$)							
Температура атмосферного воздуха	–0,765	–0,595				–0,716	
Давление атмосферы на уровне моря (lg)	–0,340						
Суточные перепады давления	0,550	0,473		0,385		0,566	0,331
Облачность нижнего яруса				–0,366			
ПсзНВ			0,401		0,420		
Скорость ветра всех направлений	0,572	0,535		0,344		0,548	
Количество атмосферных осадков (lg)	–0,337	–0,512		–0,343		–0,428	
2015 г. ($p = 0,023–0,048$)							
Температура атмосферного воздуха	–0,613	–0,648				–0,613	
Давление атмосферы на уровне моря	–0,616						
Суточные перепады давления		0,635					
Скорость ветра всех направлений		0,642					
Количество атмосферных осадков (lg)			0,580				
2016 г. ($p = 0,000–0,031$)							
Температура атмосферного воздуха	–0,854	–0,757		–0,740		–0,873	
Скорость ветра всех направлений	0,621						
Количество атмосферных осадков (lg)		–0,680					
2017 г. ($p = 0,000–0,049$)							
Температура атмосферного воздуха	–0,833	–0,794		–0,766		–0,876	
Суточные перепады давления	0,643			0,683		0,678	
Общая облачность			–0,578				
ПсзНВ					0,597		
Скорость ветра всех направлений	0,785			0,751		0,747	
Количество атмосферных осадков (lg)			–0,579	–0,700		–0,616	

Примечания: Индексы болезней см. в тексте; при расчете относительных величин обращений за СМП учитывались коэффициент годового выражения и среднегодовая численность населения (см. текст); в таблицу не включены показатели погоды со статистически не значимыми коэффициентами корреляции ($p > 0,05$).

умереть был минимальным в летние месяцы, однако в дальнейшем эта ситуация отчетливо не наблюдается, а наименьшей смертностью характеризуется декабрь.

Вызовы СМП и погодные факторы

В среднесрочном исчислении (период 2015–2017 гг.) наблюдается сильная отрицательная корреляция между среднемесячной температурой атмосферного воздуха и частотой обращений за СМП по поводу эссенциальной гипертензии и стенокардии (табл. 5). Частота обращений (кроме обращений по поводу инфаркта и инсульта) также связывается с перепадами атмосферного давления, повышением скорости ветра и уменьшением количества атмосферных осадков.

Для отдельных лет наблюдаются различия. Так, наиболее сильная отрицательная корреляция с температурой воздуха отмечается для менее теплых лет – 2016 и 2017. При этом для 2017 г. получено больше статистически значимых коэффициентов корреляции между количеством вызовов СМП и другими связанными с температурой погодными факторами (перепады давления, скорость ветра, количество осадков).

В трехлетнем периоде рост частоты вызовов СМП (острый инфаркт миокарда, инсульт) наблюдается при ветре северо-западного направления. Соответственно коэффициенты корреляции с ПсзНВ (см. табл. 5) являются статистически значимыми ($p = 0,015$ для инфаркта и $0,011$ для инсульта). На примере инфаркта лучше всего это отношение проявлено для самых холодных месяцев (январь, февраль) и ноября, а также в меньшей степени – для мая и сентября (рис. 2). Коэффициент корреляции между суммой всех обращений за СМП по поводу инфаркта и инсульта и ПсзНВ несколько выше ($r = 0,433$; $p = 0,008$) по сравнению с отдельными для этих заболеваний значениями, представленными в табл. 5.

Общая смертность населения и погодные факторы

На показатели смертности в течение каждого года влияет множество факторов, что приводит к отсутствию их значимой корреляции с показателями погоды (см. табл. 5). Для трехлетнего периода намечается корреляционная связь между перепадами атмосферного давления и месячными значениями ОКС в годовом выражении (ОКС_{гв}). Снижение смертности в декабре 2016 и 2017 гг. (см. табл. 4) повлияло на тесноту указанной связи. После исключения из выборки данных за эти месяцы значение коэффициента корреляции возросло до $0,490$ ($p = 0,003$; $n = 34$) против $0,331$ ($p = 0,049$; $n = 36$) (см. табл. 5). При этом именно в декабре 2016 и 2017 гг. отмечено значительное снижение ПсзНВ по сравнению с декабрем 2015 г. (см. табл. 1). Исключение из выборки всех данных табл. 1 с ПсзНВ $\leq 6\%$ (наряду с декабрем 2016 и 2017 гг.) мало меняет значение коэффициента корреляции: $r = 0,500$ ($p = 0,009$; $n = 26$). Одновременно в анализируемом трехлетнем периоде с исключением данных за те же месяцы усиливается отрицательная корреляция между ОКС_{гв} и значениями температуры воздуха: $r = -0,299$ ($p = 0,076$; $n = 36$), $r = -0,425$ ($p = 0,012$; $n = 34$) и $r = -0,504$ ($p = 0,009$; $n = 26$) соответственно.

Смертность населения и выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников

На рис. 3 представлены графики, характеризующие связь многолетней динамики ОКС и КС_{БСК} с количеством выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в г. Петрозаводске. На приведенной диаграмме отмечены точки с отклонениями от графиков зависимости, связанными с годовыми отличиями ПсзНВ (см. табл. 2). Как показано на рис. 3, исключение таких точек из графических построений позволяет получить искомые зависимости,

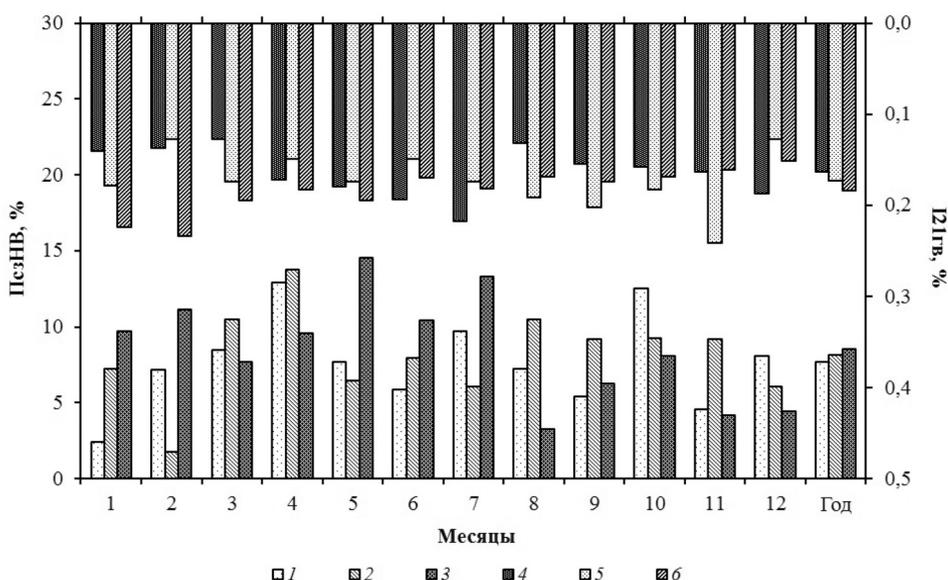


Рис. 2. Повторяемость северо-западного направления ветра и частота вызовов СМП по поводу острого инфаркта миокарда в годовом выражении: 1–3 (нижний ряд) – повторяемость направления ветра (ПсзНВ): 1 – 2015 г., 2 – 2016 г., 3 – 2017 г.; 4–6 (верхний ряд) – частота вызовов СМП (ПсзНВ): 4 – 2015 г., 5 – 2016 г., 6 – 2017 г.

характеризуемые большими значениями коэффициента детерминации по сравнению теми, в которых эти точки присутствуют. Судя по величине коэффициента детерминации, неопределенность оптимизированной модели для $KC_{БСК}$ несколько выше по сравнению с аналогичной моделью для ОКС. Можно также отметить совпадение адекватности логарифмической и линейной моделей для ОКС ($R^2 = 0,934$ и $0,929$ соответственно) и некоторое различие для $KC_{БСК}$ ($R^2 = 0,768$ и $0,693$ соответственно).

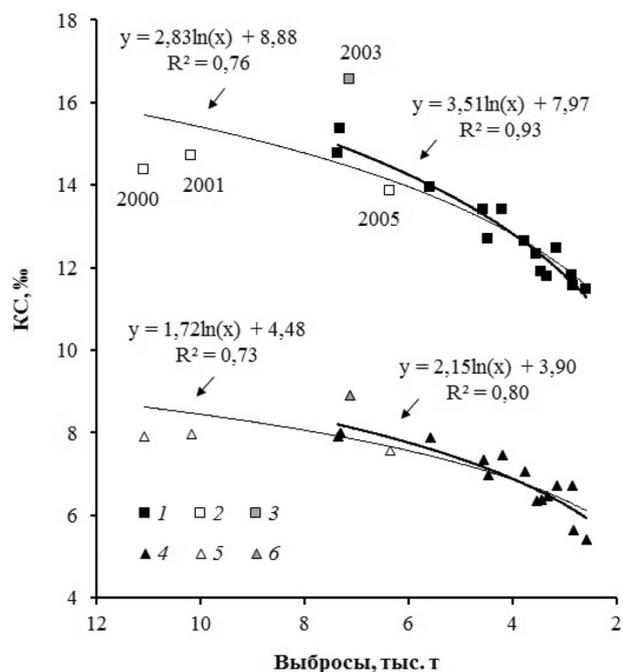


Рис. 3. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников и коэффициенты смертности населения г. Петрозаводска (ОКС – сверху, $KC_{БСК}$ – внизу): годы с ПсзНВ: 1, 4 – 6,8–9,0 % (2002–2017, кроме 2003 и 2005); 2, 5 – 5,8–6,5 % (2000, 2001, 2005), 3, 6 – 9,7 % (2003); линии трендов: тонкие – 2000–2017 гг.; жирные – 2002–2017 гг. (кроме 2003 и 2005)

Обсуждение результатов

Согласно проведенным исследованиям изменения погодных условий в течение 2015–2017 гг., связанные с сезонными различиями температуры и перепадов давления, статистически значимо влияют на частоту обращений за СМП по поводу эссенциальной гипертензии и стенокардии. С 2015 по 2017 г. усиливается влияние сезонного фактора на частоту вызовов СМП по поводу хронической ИБС.

Несмотря на снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха от стационарных источников Петрозаводска в 2015–2017 гг. по сравнению с 2000-м в 3–4 раза, в изученном трехлетнем периоде тем не менее отмечается статистически значимая корреляция между показателем ПсзНВ, связанным с загрязнением районов с наибольшей численностью населения, и частотой обращений за СМП по поводу острого инфаркта миокарда и инсульта (см. табл. 5).

Наши исследования показали отсутствие статистически значимой корреляции между температурой

атмосферного воздуха и частотой вызовов СМП по поводу острого инфаркта миокарда, что не согласуется с результатами, полученными Wichmann et al. в Копенгагене для периода 1999–2006 гг. [20]. Причинами расхождений могут быть различающиеся методические подходы (использование обычной и кажущейся температуры воздуха соответственно), а также неодинаковые местные условия (например, в Копенгагене уровни загрязнения диоксидом серы настолько низки, что их контроль прекращен).

Связь между температурой воздуха и возникновением инфаркта миокарда обнаружена в Южной Корее при воздействии как тепла, так и холода при пороговой температуре (максимальные значения от +25,5 до +31,5 °С, средние – от +27,5 до +28,5 °С; минимальные – от –2,5 до –1,5 °С соответственно) [15]. В нашем случае максимальные среднесуточные температуры в исследованный период не превысили +22,9 °С, минимальные были гораздо ниже южнокорейских – от –28,8 до –17,5 °С.

Полученная нами статистическая связь между ОКС_{гв} и показателями погоды оказалась статистически не значимой за исключением перепадов давления ($p = 0,049$). Судя по расчетам, относительно благоприятным фактором для большей части населения, по которому происходит распространение загрязняющих веществ на большую часть плотно заселенных городских районов, является пониженная ПсзНВ (≤ 6 %). Вместе с тем количество месяцев с такими метеоусловиями в многолетнем ходе составляет лишь 28 %. Кроме того, при ветре иных направлений и штилях опасному воздействию загрязнения могут подвергаться другие районы города, пусть и не столь заселенные.

Анализ данных за длительный период времени показал статистическую зависимость ОКС и $KC_{БСК}$ от количества загрязняющих веществ, выбрасываемых стационарными источниками. При этом основные источники загрязнения располагаются в северо-западной части города. Очевидно, по этой причине проведенное статистическое моделирование и выявило для периода наибольших выбросов (6–11 тыс. т/год) значительные отклонения от построенных моделей, связанные с повышенной или пониженной повторяемостью северо-западного направления ветра. Судя по полученным графическим результатам, указывающим на различия в неопределенности построенных статистических моделей (см. рис. 3), следует ожидать влияния загрязнения от стационарных источников также и на динамику смертности населения от других причин смерти.

Выводы

Результаты исследований, проведенных с использованием метеорологических, медицинских данных и данных государственной статистики по г. Петрозаводску, позволяют сделать следующие выводы:

- климатические изменения в районе исследований проявляются в быстром повышении среднегодовой температуры атмосферного воздуха и повторяемости ветра северо-западного направления, а экологические

— в значительном снижении выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников;

- температура атмосферного воздуха и перепады атмосферного давления влияют на здоровье населения, что в годовом ходе выражается в увеличении количества вызовов СМП по поводу сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе эссенциальной гипертензии, стенокардии и ИБС, в холодный сезон и уменьшении — в теплый;

- частота вызовов СМП по поводу острого инфаркта миокарда и инсульта может повышаться при увеличении ПсЗНВ, перемещающего вредные выбросы от основных стационарных источников на территорию с наибольшей численностью населения;

- наблюдения за 2000–2017 гг. подтвердили наличие положительной корреляции между количеством годовых выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников и смертностью населения. При этом обнаружено статистически подтверждаемое влияние на эту зависимость ПсЗНВ при исследовании как годовых, так и месячных значений;

- полученные данные о влиянии погодных условий и загрязнения воздуха на частоту обращений за СМП по поводу сердечно-сосудистых заболеваний и смертность населения рекомендуется учитывать при организации СМП и экологических мероприятий в Петрозаводске и Республике Карелия.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН).

Благодарность

Авторы благодарят за содействие данной работе главного врача ГБУЗ РК «Больница скорой медицинской помощи» г. Петрозаводска Алексея Ильича Хейфеца.

Авторство

Рыбаков Д. С. подготовил первый вариант статьи, работал над ее улучшением, провел статистические расчеты, подготовил таблицы и рисунки, утвердил окончательный вариант для направления в редакцию; Белашев Б. З. работал с каталогом обезличенных данных, подготовил массивы данных по вызовам скорой медицинской помощи для статистических расчетов, работал над улучшением текста статьи.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Рыбаков Дмитрий Сергеевич — ORCID 0000-0001-7103-3107; SPIN 8010-8790

Белашев Борис Залманович — ORCID 0000-0002-2081-658X; SPIN 2006-2760

Список литературы

1. *Беляева В. А.* Влияние метеофакторов на частоту повышения артериального давления // Анализ риска здоровью. 2016. № 4. С. 17–22. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.02
2. *Беляева В. А.* Сезонная и суточная динамика обращаемости населения г. Владикавказ с гипертоническими кризами за скорой медицинской помощью // Медицинский альманах. 2017. № 2 (47). С. 23–26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29253654> (дата обращения: 06.05.2019).
3. Государственный доклад о состоянии окружающей

среды Республики Карелия в 2017 году / Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия. Петрозаводск, 2018. 292 с.

4. *Ивашкин В. Т., Кузнецов Е. Н.* Оценка риска при артериальной гипертензии и современные аспекты антигипертензивной терапии // Русский медицинский журнал. 1999. № 14. С. 635–642. URL: https://www.rmj.ru/archive/dematologiya_kardiologiya/ (дата обращения: 04.07.2019).

5. *Карпов Ю. А., Булкина О. С., Лопухова В. В., Козловская И. Л.* Влияние климатических и метеорологических факторов на течение ишемической болезни сердца // Кардиологический вестник. 2013. Т. 8, № 2 (20). С. 41–48. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20799363> (дата обращения: 07.05.2019).

6. Климатические изменения: взгляд из России / под ред. В. И. Данилова-Данильяна. М.: ТЕИС, 2003. 416 с.

7. *Назарова Л. Е.* Об оценке комфортности климата в Карелии // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2011. № 4. С. 129–133. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16986136> (дата обращения: 29.06.2019).

8. *Ревич Б. А.* Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения Европейской части России летом 2010 года: результаты предварительной оценки // Экология человека. 2011. № 7. С. 3–9. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16535208> (дата обращения: 06.05.2019).

9. *Рыбаков Д. С.* Геоэкология Карелии: геохимический подход к проблеме оценки риска. Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, 2017. 311 с.

10. *Рыбаков Д. С.* Статистическая оценка связи между показателями смертности и выбросами загрязняющих веществ в условиях урбанизации // Принципы экологии. 2014. № 1. С. 59–73. DOI: 10.15393/j1.art.2014.3361

11. Специализированные массивы для климатических исследований / ВНИИГМИ-МЦД; В. М. Веселов, И. Р. Прибыльская. Обнинск. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения: 06.05.2019).

12. *Хаснулин В. И., Гафаров В. В., Воевода М. И., Разумов Е. В., Артамонова М. В.* Влияние метеорологических факторов в различные сезоны года на частоту возникновения осложнений гипертонической болезни у жителей Новосибирска // Экология человека. 2015. № 7. С. 3–8. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24041123> (дата обращения: 06.05.2019).

13. *Яблоков А. В., Нестеренко В. Б., Нестеренко А. В., Преображенская Н. Е.* Чернобыль: последствия катастрофы для человека и природы. М.: КМК, 2016. 826 с.

14. *Bell M. L., Davis D. L., Fletcher T.* A Retrospective Assessment of Mortality from the London Smog Episode of 1952: The Role of Influenza and Pollution // Environ. Health Perspect. 2004. Vol. 112, N 1. P. 6–8. DOI: 10.1289/ehp.6539

15. *Brook R. D., Rajagopalan S., Pope C. A. 3rd, Brook J. R., Bhatnagar A., Diez-Roux A. V., Holguin F., Hong Y., Luepker R. V., Mittleman M. A., Peters A., Siscovick D., Smith S. C. Jr., Whitsett L., Kaufman J. D.* Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease: An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association // Circulation. 2010. Vol. 121. P. 2331–2378. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181d8bec1

16. *Lee S., Lee E., Park M. S., Kwon B. Y., Kim H., Jung D. H., et al.* Short-Term Effect of Temperature on Daily Emergency Visits for Acute Myocardial Infarction with Threshold Temperatures // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, N 4: e94070. DOI: 10.1371/journal.pone.0094070

17. *Li G., Zhou M., Cai Y., Zhang Y., Pan X.* Does temperature enhance acute mortality effects of ambient

particle pollution in Tianjin City, China // *Sci. Total Environ.* 2011. Vol. 409. P. 1811–1817. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.02.005

18. Sharif Nia H., Chan Y. H., Froelicher E. S., Pahlevan Sharif S., Yaghoobzadeh A., Jafari A., et al. Weather fluctuations: predictive factors in the prevalence of acute coronary syndrome // *Health Promot. Perspect.* 2019. Vol. 9, N 2. P. 123–130. DOI: 10.15171/hpp.2019.17

19. Vencloviene J., Braziene A., Dedele A., Lopatiene K., Dobožinskas P. Associations of short-term exposure to ambient air pollutants with emergency ambulance calls for the exacerbation of essential arterial hypertension // *Int. J. of Environ. Health Res.* 2017. Vol. 27, N 6. P. 509–524. DOI: 10.1080/09603123.2017.1405246.

20. Wichmann J., Ketznel M., Ellermann T., Loft S. Apparent temperature and acute myocardial infarction hospital admissions in Copenhagen, Denmark: a case-crossover study // *Environ. Health.* 2012. Vol. 11. P. 19. DOI: 10.1186/1476-069X-11-19

References

1. Belyaeva V. A. The impact of meteo-factors on increase of arterial blood pressure. *Analiz riska zdorov'yu* [Health Risk Analysis]. 2016, 4, pp. 17–22. [In Russian]. DOI: 10.21668/health.risk/2016.4.02

2. Belyaeva V. A. Seasonal and daily dynamics of Vladikavkaz population having hypertensive crises applying for emergency medical services. *Meditsinskii al'manakh* [Medical Almanac]. 2017, 2 (47), pp. 23–26. [In Russian]. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29253654> (accessed: 06.05.2019).

3. *State Report on the Status of the Environment in the Republic of Karelia in 2017*. The Ministry for the Natural Resources and Ecology of the Republic of Karelia. Petrozavodsk, 2018, 292 p. [In Russian]

4. Ivashkin V. T., Kuznetsov E. N. Risk assessment in hypertension and modern aspects of antihypertensive therapy. *Russkii meditsinskii zhurnal* [Russian Medical Journal]. 1999, 14, pp. 635–642. [In Russian]. Available at: https://www.rmj.ru/archive/dermatologiya_kardiologiya/ (accessed: 04.07.2019).

5. Karpov Yu. A., Bulkina O. S., Lopukhova V. V., Kozlovskaya I. L. The impact of climatic and meteorological factors on the course of ischemic heart disease. *Kardiologicheskii vestnik* [Russian Cardiology Bulletin]. 2013, 8, 2(20), pp. 41–48. [In Russian]. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20799363> (accessed: 07.05.2019).

6. *Klimaticheskie izmeneniya: vzglyad iz Rossii* [Climate change: a view from Russia]. Ed. V. I. Danilov-Danilyan. Moscow, TEIS Publ., 2003, 416 p.

7. Nazarova L. E. Ob otsenke komfortnosti klimata v Karelii [About assessment of comfortable climate of Karelia]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. 2011, 4, pp. 129–133. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16986136> (accessed: 29.06.2019).

8. Revich B. A. Heat-wave, air quality and mortality in European Russia in summer 2010: preliminary assessment. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 7, pp. 3–9. [In Russian]. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16535208> (accessed: 06.05.2019).

9. Rybakov D. S. *Geoekologiya Karelii: geokhimicheskii podkhod k probleme otsenki riska* [Geoecology of Karelia: a geochemical approach to the problems of risk assessment]. Petrozavodsk, Karelian Research Center of the Russian Academy of Science. 2017, 311 p.

10. Rybakov D. S. Statistical estimation of the relationship between mortality rates and pollutant emissions in the conditions of urbanization. *Printsipy ekologii* [Principals of the Ecology]. 2014, 1, pp. 59–73. [In Russian]. DOI: 10.15393/jl.art.2014.3361

11. *Spetsializirovannyye massivyy dlya klimaticheskikh issledovaniy* [Specialized arrays for climate research]. V. M. Veselov, I. R. Pribyl'skaya. Obninsk. Available at: <http://aisori.meteo.ru/ClimatR> (accessed: 06.05.2019).

12. Hasnulin V. I., Gaфарov V. V., Voevoda M. I., Razumov E. V., Artamonova M. V. Influence of meteorological factors in different seasons on incidence of hypertensive disease complications in Novosibirsk residents. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 7, pp. 3–8. [In Russian]. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24041123> (accessed: 06.05.2019).

13. Yablokov A. V., Nesterenko V. B., Nesterenko A. V., Preobrazhenskaya N. E. *Chernobyl': posledstviya katastrofy dlya cheloveka i prirody* [Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment]. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2016, 826 p.

14. Bell M. L., Davis D. L., Fletcher T. A Retrospective Assessment of Mortality from the London Smog Episode of 1952: The Role of Influenza and Pollution. *Environ. Health Perspect.* 2004, 112 (1), pp. 6–8. DOI: 10.1289/ehp.6539

15. Brook R. D., Rajagopalan S., Pope C. A. 3rd, Brook J. R., Bhatnagar A., Diez-Roux A. V., Holguin F., Hong Y., Luepker R. V., Mittleman M. A., Peters A., Siscovick D., Smith S. C. Jr., Whitsel L., Kaufman J. D. Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease: An Update to the Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2010, 121, pp. 2331–2378. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181d8bec1

16. Lee S., Lee E., Park M. S., Kwon B. Y., Kim H., Jung D. H., et al. Short-Term Effect of Temperature on Daily Emergency Visits for Acute Myocardial Infarction with Threshold Temperatures. *PLoS ONE.* 2014, 9 (4), p. e94070. DOI: 10.1371/journal.pone.0094070

17. Li G., Zhou M., Cai Y., Zhang Y., Pan X. Does temperature enhance acute mortality effects of ambient particle pollution in Tianjin City, China. *Sci. Total Environ.* 2011, 409, pp. 1811–1817. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.02.005

18. Sharif Nia H., Chan Y. H., Froelicher E. S., Pahlevan Sharif S., Yaghoobzadeh A., Jafari A., et al. Weather fluctuations: predictive factors in the prevalence of acute coronary syndrome. *Health Promot. Perspect.* 2019, 9 (2), pp. 123–130. DOI: 10.15171/hpp.2019.17

19. Vencloviene J., Braziene A., Dedele A., Lopatiene K., Dobožinskas P. Associations of short-term exposure to ambient air pollutants with emergency ambulance calls for the exacerbation of essential arterial hypertension. *Int. J. of Environ. Health Res.* 2017, 27 (6), pp. 509–524. DOI: 10.1080/09603123.2017.1405246

20. Wichmann J., Ketznel M., Ellermann T., Loft S. Apparent temperature and acute myocardial infarction hospital admissions in Copenhagen, Denmark: a case-crossover study. *Environ. Health.* 2012, 11, p. 19. DOI: 10.1186/1476-069X-11-19

Контактная информация:

Рыбаков Дмитрий Сергеевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»

Адрес: 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11

E-mail: rybakovd@krc.karelia.ru

ЭНДОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТИБИОТИКАМ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

© 2020 г. Н. В. Давидович, Н. В. Соловьева, Е. Н. Башилова, Т. А. Бажукова

ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Архангельск

Проблема нерационального использования антибактериальных препаратов и растущей стремительными темпами антибиотикорезистентности является глобальной эндоэкологической катастрофой и медико-социальной угрозой современному обществу. По прогнозам Всемирной организации здравоохранения и Центра по контролю и профилактике заболеваний, смертность от инфекционных болезней к 2050 году составит около 10 млн человек в год и выйдет на одно из первых мест наравне с онкологическими и сердечно-сосудистыми заболеваниями. С другой стороны, развитие антибиотикорезистентности является частью эволюции бактерий, их адаптации к новым изменяющимся условиям обитания. С момента открытия А. Флемингом пенициллина в 1928 году ни один antimicrobial препарат не избежал появления бактериальной резистентности. С момента открытия нового антибиотика до появления первых резистентных к нему штаммов микроорганизмов проходит 1–2 года, что говорит о высокой изменчивости и пластичности генетического аппарата бактерий. В настоящем литературном обзоре раскрываются основные эволюционные и эндоэкологические аспекты возникновения бактериальной устойчивости, необходимые для поиска рационального подхода и решения проблемы антибиотикорезистентности. Описаны механизмы действия как летальных, так и субингибирующих концентраций антибактериальных препаратов на бактериальную популяцию, аспекты селекции бактерий с повышенным числом мутаций, а также способы повышения числа мутаций микроорганизмов за счет прямого мутагенного эффекта антибиотиков, включая окислительное повреждение, дисбаланс нуклеотидного пула и общие реакции на стресс. Однако важнейшим механизмом эволюции и адаптации бактерий, включая ускользание от иммунного ответа, а также распределение генов, повышающих вирулентность и устойчивость к антибиотикам, является получение чужеродных последовательностей ДНК из других организмов посредством горизонтального переноса генов. Таким образом, знание механизмов резистентности может помочь предотвратить нерациональное использование антибиотиков и стать важнейшим этапом в понимании экологии и эволюции бактерий и их симбиотических взаимоотношений с макроорганизмом.

Ключевые слова: эндоэкологические аспекты антибиотикорезистентности, антибиотики, эволюция бактерий, горизонтальный перенос генов, литературный обзор

ENDOECOLOGICAL ASPECTS OF ANTIBIOTIC RESISTANCE: A LITERATURE REVIEW

N. V. Davidovich, N. V. Solovieva, E. N. Bashilova, T. A. Bazhukova

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

The problem of irrational use of antibacterial drugs and the rapidly growing antibiotic resistance can be viewed as an endoecological disaster and a threat to modern society. According to the forecasts of the World Health Organization and the Center for Disease Control and Prevention, the mortality rate due to infectious diseases by 2050 will constitute 10 million people a year and will join neoplasms and cardiovascular diseases as the leading causes of death. On the other hand, the development of antibiotic resistance is a part of the evolution of bacteria and their adaptation to new living conditions. Since the discovery of penicillin antimicrobial drug has escaped the appearance of bacterial resistance. From the moment a new antibiotic is discovered until the first strains of microorganisms become resistant to it, 1-2 years pass, indicating a high variability and plasticity of the bacterial genetic apparatus. This literature review summarizes the evidence on the main evolutionary and pathogenetic aspects of the emergence of bacterial resistance ways to reduce the problem of antibiotic resistance. The mechanisms of action of both lethal and subinhibitory concentrations of antibacterial drugs on the bacterial population, aspects of selection of bacteria with an increased number of mutations, as well as methods for increasing the number of mutations of microorganisms due to the direct mutagenic effect of antibiotics, including oxidative damage, nucleotide pool imbalance and general reactions to stress are described. However, the most important mechanism for the evolution and adaptation of bacteria, including escape from the immune response, as well as the distribution of genes that increase virulence and resistance to antibiotics, is to obtain foreign DNA sequences from other organisms through horizontal gene transfer. Thus, the knowledge of the mechanisms of resistance can help prevent the misuse of antibiotics and become a critical step in understanding the ecology and evolution of bacteria and their symbiotic relationships with a human organism.

Key words: endoecological aspects of antibiotic resistance, antibiotics, bacterial evolution, horizontal gene transfer, literature review

Библиографическая ссылка:

Давидович Н. В., Соловьева Н. В., Башилова Е. Н., Бажукова Т. А. Эндоэкологические аспекты устойчивости к антибиотикам: обзор литературы // Экология человека. 2020. № 5. С. 31–36.

For citing:

Davidovich N. V., Solovieva N. V., Bashilova E. N., Bazhukova T. A. Endoecological Aspects of Antibiotic Resistance: A Literature Review. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 31-36.

За последние 3,5–3,7 миллиарда лет живые организмы преодолели все эволюционные барьеры благодаря своей необычайной изменчивости и способности к адаптации. Микробы, которые являются самой

распространенной формой жизни на нашей планете, могут выживать в любых средах обитания: от системы вечных льдов до кипящей воды, от крайних степеней рН до условий избыточного давления. Высокая чис-

ленность их популяции, потрясающая пластичность геномного аппарата и их способность обмениваться генетической информацией между разными видами дает им бесконечную степень приспособляемости [1, 25]. Следовательно, у нас не должен вызывать удивление тот факт, что микробы выработали механизмы устойчивости к любым лекарствам, разработанным для борьбы с ними.

Интенсивное, длительное и нерациональное использование антибиотиков в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве спровоцировало появление и всемирное распространение патогенных бактерий с высокой степенью антибиотикорезистентности [4, 15, 17, 42].

Цель настоящего обзора – продемонстрировать, что появление и распространение устойчивости бактерий к противомикробным препаратам является результатом эволюционного процесса, то есть микроорганизмы адаптируются к антибиотикам так же легко, как и к новым изменениям окружающей среды. Человек является лишь небольшой частью истории жизни бактерий, в которой противомикробные препараты становятся еще одной ступенью их эволюции на Земле. Более того, недавние исследования заставляют нас думать, что бактерии – не просто «сторонние наблюдатели» своего успеха в эволюции. Они самостоятельно могут использовать генетические механизмы, чтобы увеличить скорость адаптации и извлечь выгоду даже из неблагоприятных условий [12, 14].

Основные пути возникновения антибиотикорезистентности

Выделяют природную и приобретенную устойчивость бактерий к антибиотикам. Природная резистентность является видоспецифичной для бактерий и представляет собой отсутствие мишени действия антибиотика или недоступность мишени вследствие исходно низкой проницаемости клеточной стенки или ферментативной инактивации антимикробного агента [2, 13].

Приобретенную резистентность бактерии могут развить с помощью нескольких механизмов: 1) альтерация (изменение) мишени для антибиотика путем мутации, 2) изменение клеточной проницаемости и эффлюкс (активное выведение антибиотика из микробной клетки), а также 3) горизонтальный перенос генов антибиотикорезистентности [28, 43].

Крупный прорыв в понимании эволюции антибиотикорезистентности произошел в 40-х годах прошлого века при демонстрации того, что действие летальных концентраций антибактериальных агентов на бактерий приводило к селекции (отбору) пресуществующих устойчивых штаммов микроорганизмов, следовательно, применение данных антибиотиков само по себе не индуцировало появления резистентности [10, 29]. Однако после семи десятилетий исследований следует расширить классическую точку зрения, чтобы отразить современное понимание этого сложного

явления. Например, что происходит, когда антибиотики присутствуют в низких или очень низких концентрациях (недостаточных для того, чтобы убить или приостановить рост восприимчивой популяции) во многих окружающих средах?

Явление, при котором субпопуляции бактерий могут выживать при действии летальных доз антибиотиков, при этом не становясь резистентными с помощью приобретенных механизмов, называется персистенцией. В работе Dogg et al. [21] показано, что большая часть устойчивых к фторхинолонам (ципрофлоксацин) бактерий появляется при воздействии антибиотика на SOS-систему бактерии (данная защитная система активируется в ответ на серьезные повреждения ДНК/ингибирование репликации и запускает последовательность защитных реакций, в том числе экспрессию генов, связанных с репарацией). Следовательно, резистентные бактерии появляются с помощью активного индуцибельного механизма, опосредованного ответом SOS-системы, который провоцируется действием некоторых антибиотиков. Это противоречит предыдущему представлению о том, что резистентные бактерии появляются случайно, до воздействия антибиотиков.

Действие антибиотиков также способствует селекции бактерий с повышенным числом мутаций (гипермутанты или мутанты). Некоторые аллели увеличивают возможность благоприятных мутаций, а при некоторых условиях могут ускорять эволюцию бактерий. Во время этого процесса бактерии-мутанты могут оставаться в популяции путем отбора второго порядка с появлением благоприятных мутаций [19]. Эта наследственная гипермутация у бактерий в основном обусловлена изменениями в генах, принадлежащих к системе репарации неспаренных оснований (mismatch repair – MMR) (mutS, mutL, mutH и uvrD), хотя дефицит в других антимутантных генах, таких как mutT (который очищает 8-охо-G и 8-охо-dG), mutY и mutM (способные устранить ошибки, вызванные при встраивании 8-охо-dG в ДНК), также был обнаружен среди мутантных штаммов *Pseudomonas aeruginosa* у пациентов с муковисцидозом [31, 36]. Отсутствие системы MMR увеличивает не только частоту мутаций, но и частоту рекомбинации двух дивергентных последовательностей, происходящих от одного и того же или разных бактериальных штаммов [18]. Таким образом, вероятность получения новых функций с помощью как мутаций, так и рекомбинаций в значительной степени возникает именно у MMR-дефицитных штаммов. Mao et al. [32] продемонстрировали, что действие антибиотиков может способствовать селекции мутантов: однократная селекция мутанта, резистентного к антибиотикам, увеличивает их долю в выбранной популяции с первоначальной 0,001 % (нормальная частота в популяции *E. coli*) до 0,5 %. Кроме того, последовательная селекция может увеличить долю мутантных штаммов в выбранной популяции до 100 %. Следовательно, данный антибиотик может не только вызывать устойчивость

к себе, но и, увеличивая долю мутантов, косвенно вызывать повышенную вероятность устойчивости к не связанным с ним антибиотикам.

Прямой мутагенный эффект антибиотиков

Некоторые антибиотики могут повысить частоту мутаций с помощью нескольких способов: 1) оксидативное повреждение и SOS-ответ, 2) дисбаланс нуклеотидного пула и 3) общие реакции на стресс [8, 11, 44].

Было продемонстрировано, что выработка активных метаболитов кислорода является общим признаком антибиотик-ассоциированной летальности. Этот общий путь клеточной гибели опосредован повышенной частотой дыхания, кратковременным истощением NADH и необратимым окислением железосерных кластеров, которые приводят к образованию гидроксильных радикалов посредством реакций Фентона [45]. Однако этот механизм, по-видимому, не является единственным, поскольку фторхинолоны и цефалоспорины эффективны и в анаэробных условиях. Известно, что активные метаболиты кислорода вызывают повреждение ключевых клеточных компонентов, таких как белки, липиды и ДНК. Эти поломки прямо или косвенно могут привести к повреждению ДНК и, следовательно, к накоплению мутаций. Лечение инфекций, вызванных кишечной палочкой, некоторыми антибиотиками в сублетальных концентрациях повышает уровень активных метаболитов кислорода, что значительно коррелирует с увеличением степени мутагенеза [26, 30].

Вследствие увеличения концентрации активных метаболитов кислорода и/или остановки репликации (вызванной, например, фторхинолонами) активируется SOS-ответ. Несколько функционально не связанных антибиотиков индуцируют запуск SOS-системы [26, 44]. Эта активация запускает экспрессию специализированных (подверженных ошибкам) ДНК-полимераз, способных обходить повреждения ДНК с пониженной точностью. Доказан тот факт, что фторхинолоны являются мутагенными для бактерий. Вот почему субингибирующие концентрации хинолонов могут увеличить частоту мутаций резистентности. Ципрофлоксацин вызывает увеличение частоты появления устойчивых к рифампину штаммов *Streptococcus pneumoniae* и устойчивых к карбапенему штаммов *P. aeruginosa* до 5 раз. У *Mycobacterium fortuitum* тот же антимикробный агент вызывает впечатляющий рост частоты резистентных штаммов почти в два раза. У *E. coli* инактивация гена *recA* in vitro, необходимая для индукции SOS-ответа, противодействует влиянию сублетальных антимикробных концентраций на мутагенность. Дополнительными регуляторами, участвующими в стресс-индуцированном мутагенезе *E. coli*, являются сигма-факторы RpoS и RpoE, которые могут оказывать независимую инактивацию некоторых склонных к ошибкам ДНК-полимераз [23, 37, 40, 41].

Бета-лактамы, такие как пенициллины и цефалоспорины, также вызывают запуск

SOS-ответа, но с помощью другого механизма [35]. Ингибирование клеточного деления при воздействии β-лактамов индуцирует оперон *drpA*, который кодирует двухкомпонентную систему «ответ — эффектор». *DrpA*, эффектор, связывается с источником хромосомной репликации и ингибирует ее, вызывая SOS-ответ и увеличивая генетическую вариабельность [35, 40]. С другой стороны, воздействие β-лактамов антибиотиков индуцирует ген *dinB* и мутагенез также через SOS-независимый путь. С другой стороны, механизм триметоприм-индуцированной мутации объясняется дисбалансом пула нуклеотидов, потому что ДНК-полимеразы реплицируются с пониженной точностью при данном дисбалансе. Более того, сублетальные дозы стрептомицина приводят к неточной и неправильной трансляции белков репарации и репликации ДНК, создавая переходные состояния. Интересно отметить, что неправильно транслированные после лечения стрептомицином белки оказались более восприимчивыми к окислению под действием активных метаболитов кислорода [7, 38, 39].

Согласно приведенным выше данным *RecA* и *LexA* (основные регуляторы SOS-ответа) являются главными мишенями для предотвращения или уменьшения появления резистентности к применяемым для лечения антибиотикам [7, 9, 27, 38].

Опасность субингибирующих концентраций антибиотиков

Появляется все больше данных, указывающих на селективную способность сублетальных концентраций антибиотиков вызывать не только низкие, но и высокие уровни резистентности. Высокая частота обнаружения у животных из относительно нетронутой окружающей среды резистентных бактерий может быть частично объяснена воздействием субминимальных концентраций антибиотиков. Кроме того, воздействие субминимальных концентраций многих противомикробных препаратов препятствует протеканию некоторых важных физиологических процессов в бактериальных клетках, что приводит к таким нежелательным последствиям, как изменения вирулентности, устойчивости и способности вызывать генетические изменения [22, 29]. Эти результаты дополняют знания об эволюции резистентности и позволяют предположить, что низкие концентрации антибиотиков могут быть важны для обогащения и поддержания устойчивости в бактериальных популяциях, а также для повышения вирулентности.

У бактерий группы кишечной палочки фторхинолоны, β-лактамы, триметоприм и сульфаметоксазол индуцируют стрессовый SOS-ответ, тогда как аминогликозиды, тетрациклин и хлорамфеникол его не вызывают. Тем не менее эти антибиотики вызывают SOS-ответ у *Vibrio cholerae*. Кроме того, субингибирующие концентрации антибиотиков могут стимулировать не только бактериальную мутацию, но и рекомбинацию (см. ниже) [8]. Следовательно, макроорганизм и окружающая среда, подвергающиеся

воздействию низких концентраций противомикробных препаратов, могут стать очагами вызванной антибиотиками мутации и рекомбинации, ответственными за фенотипические изменения и, в частности, за возникновение, поддержание и распространение устойчивости к антибиотикам.

Концентрации антибиотиков в окружающей среде в значительной степени варьируют в зависимости от конкретных условий. В районе фармацевтических предприятий или в сточных водах больниц эти концентрации могут быть очень высокими (мг/мл). Кроме того, низкие уровни антибиотиков могут быть обнаружены в некоторых труднодоступных компартаментах тела [33, 46].

Влияние антибиотиков на горизонтальный перенос и рекомбинацию генов

В дополнение к мутации существуют другие механизмы, обеспечивающие генетическую вариабельность бактерий, такие как внутригеномная реорганизация геномных последовательностей (внутрихромосомная рекомбинация) и получение чужеродных последовательностей ДНК из других организмов посредством горизонтального переноса генов. Оба механизма играют важную роль в эволюции и адаптации бактерий, включая ускользание от иммунного ответа, а также распределение генов, повышающих вирулентность и устойчивость к антибиотикам. Большая часть резистентности к антибиотикам, скорее всего, была приобретена путем горизонтальной передачи генов устойчивости от других бактерий [20, 24, 34].

Известно, что антибиотики могут способствовать переносу мобильных генетических элементов у некоторых штаммов микроорганизмов. Например, обработка *E. Coli* H57:0157 фторхинолонами индуцирует экспрессию шига-токсина через SOS-систему и способствует удалению и передаче кодирующего его профага. Следует отметить, что фторхинолоны обычно используются для лечения токсикозависимого гемолитико-уремического синдрома [8, 46].

Кроме того, вызванное антибиотиками повреждение клеток организма хозяина активирует SOS-ответ, что приводит к мобилизации многих других мобильных элементов. Veager et al. [7] показали, что шига-токсин, интегрирующий конъюгативный элемент, кодирующий устойчивость к хлорамфениколу, сульфаметоксазолу, триметоприму и стрептомицину у *Vibrio cholerae*, переносился и встраивался более эффективно, когда донор подвергался воздействию ципрофлоксацина в концентрациях ниже минимально ингибирующих. Индукция SOS-ответа отвечает за его регулирование. Регуляция активаторов транскрипции, необходимых для удаления и переноса, происходит с помощью системы SOS. Недавно были получены первые доказательства значимости переноса интегрон-опосредованной антибиотикорезистентности посредством SOS-ответа в клинических условиях. К другим примерам относится перенос островка патогенности SaPIbov1 у *Staphylococcus aureus*

посредством индукции SOS-ответа низкими дозами ципрофлоксацина, тетрациклин-индуцированное увеличение частоты переноса генов у *Bacteroides* и *Enterococcus faecalis*, имеющих конъюгативные транспозоны, опосредованное бета-лактамами увеличение частоты переноса плазмид (в 100–1 000 раз) SOS-независимым образом у *S. aureus* и индукция способности к трансформации ДНК у *S. pneumoniae* субминимально ингибирующими концентрациями некоторых антибиотиков [7, 21, 32].

Также стоит отметить обратный эффект. Некоторые антибиотики могут ингибировать конъюгацию или проявлять токсичность в отношении клеток, несущих плазмиды. Например, ципрофлоксацин может ингибировать конъюгацию плазмид у *E. coli*, а субминимальные концентрации мупироцина снижают частоту конъюгативного переноса плазмид устойчивости к гентамицину pWG613 у *S. aureus* [22, 36].

Таким образом, антибиотики могут являться истинными промоутерами антибиотикорезистентности. Многие антибиотики индуцируют образование активных форм кислорода, вызывают дисбаланс метаболизма нуклеотидов или воздействуют непосредственно на ДНК, вызывая во всех случаях реакцию SOS-системы и экспрессию подверженных ошибкам ДНК-полимераз. Селекция гипермутантных клонов является еще одним нежелательным последствием, которое может увеличить вероятность развития резистентности. Так, определенные антибиотики могут стимулировать мутагенез, рекомбинацию и/или горизонтальный перенос генов — ключевые процессы для возникновения и распространения резистентности. Конечным результатом является увеличение генетической вариабельности и, следовательно, вероятности того, что бактерии приобретут устойчивость в присутствии антимикробного агента, независимо во многих случаях от диапазона концентраций антибактериального вещества. Механизмы, вовлеченные в генетическую адаптацию к антибиотикам, по-видимому, являются превосходными мишенями для подавления или уменьшения появления мутаций устойчивости во время лечения антибиотиками [3, 5, 6, 16, 20].

Формирование устойчивости к противомикробным препаратам является неизбежным следствием эволюционного процесса и представляет собой многофакторную проблему медицины, генетики, микробиологии, экологии и социологии. Если мы не найдем решения, то будем обречены на ожесточенную борьбу с эволюцией, так как до сих пор ни один антимикробный препарат не избежал появления бактериальной резистентности.

Вклад авторов

Давидович Н. В. — поиск и анализ данных литературных источников, написание текста рукописи; Соловьева Н. В. — анализ данных литературных источников, написание текста рукописи; Башилова Е. Н. — поиск и анализ данных литературных источников, структурирование обзора; Бажукова Т. А. — редактирование текста рукописи, окончательное ее утверждение к публикации.

Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Давидович Наталия Валерьевна — ORCID 0000-0002-6414-9870; SPIN 5230-2125

Соловьева Наталия Владиславовна — ORCID 0000-0002-0664-4224; SPIN 2263-8904

Башилова Елена Николаевна — ORCID 0000-0002-9247-6633; SPIN 9526-8284

Бажукова Татьяна Александровна — ORCID 0000-0002-7890-2341; SPIN 2220-2151

Список литературы / References

1. Ефименко Т. А., Терехова Л. П., Ефременкова О. В. Современное состояние проблемы антибиотикорезистентности патогенных бактерий // Антибиотики и химиотерапия. 2019. № 5. С. 5–6.

Efimenko T. A., Terekhova L. P., Efremenkova O. V. The current state of the problem of antibiotic resistance of pathogenic bacteria. *Antibiotiki i himioterapiya* [Antibiotics and chemotherapy]. 2019, 5, pp. 5-6. [In Russian]

2. Землянко О. М., Рогоза Т. М., Журавлева Г. А. Механизмы множественной устойчивости бактерий к антибиотикам // Экологическая генетика. 2018. № 3. С. 4–17.

Zemlyanko O. M., Rogoza T. M., Zhuravleva G. A. Mechanisms for the multiple resistance of bacteria to antibiotics. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological genetics]. 2018, 3, pp. 4-17. [In Russian]

3. Намазова-Баранова Л. С., Баранов А. А. Антибиотикорезистентность в современном мире // Педиатрическая фармакология. 2017. № 5. С. 341–354.

Namazova-Baranova L. S., Baranov A. A. Antibiotic resistance in the modern world. *Pediatricheskaya farmakologiya* [Pediatric pharmacology]. 2017, 5, pp. 341-354. [In Russian]

4. Устойчивость к противомикробным препаратам // Сайт Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance> (дата обращения: 27.10.2019).

Ustojchivost' k protivomikrobnym preparatam [Antimicrobial resistance]. World Health Organization website. Available at: <https://www.who.int/ru/newsroom/factsheets/detail/antimicrobial-resistance> (accessed: 27.10.2019). [In Russian]

5. Чеботарь И. В., Маянский А. Н., Кончакова Е. Д., Лазарева А. В., Чистякова В. П. Антибиотикорезистентность биоплёночных бактерий // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2012. № 1. С. 51–57.

Chebotar' I. V., Mayanskij A. N., Konchakova E. D., Lazareva A. V., Chistyakova V. P. Antibiotic resistance of biofilm bacteria. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya himioterapiya* [Clinical microbiology and antimicrobial chemotherapy]. 2012, 1, pp. 51-57. [In Russian]

6. Яковлев С. В., Проценко Д. Н., Шахова Т. В., Суворова М. П., Рамшвили В. Ш., Игнатенко О. В. и др. Антибиотикорезистентность в стационаре: контролируем ли мы ситуацию? // Антибиотики и химиотерапия. 2010. № 1–2. С. 50–58.

Yakovlev S. V., Protsenko D. N., Shakhova T. V., Suvorova M. P., Ramishvili V. S., Ignatenko O. V. et al. Inpatient antibiotic resistance: are we in control? *Antibiotiki i khimioterapiya* [Antibiotics and chemotherapy]. 2010, 1-2, pp. 50-58. [In Russian]

7. Beaber J. W., Hochhut B., Waldor M. K. SOS response promotes horizontal dissemination of antibiotic resistance genes. *Nature*. 2004, 427, pp.72-74.

8. Baharoglu Z., Mazel D. *Vibrio cholerae* triggers SOS and mutagenesis in response to a wide range of antibiotics: a route towards multiresistance. *Antimicrob. Agents Chemother.* 2011, 55, pp. 2438-2441.

9. Binnewies T. T., Motro Y., Hallin P. F. Ten years of bacterial genome sequencing: comparative-genomics-based discoveries. *Funct. Integr. Genomics*. 2006, 6, pp. 165-185.

10. Blanco P., Corona F., Martinez J. L. Involvement of the RND efflux pump transporter SmeH in the acquisition of resistance to ceftazidime in *Stenotrophomonas maltophilia*. *Scientific reports*. 2019, 20; 9 (1), p. 4917.

11. Blazquez J., Couce A., Rodriguez-Beltran J., Rodriguez-Rojas A. Antimicrobials as promoters of genetic variation. *Curr. Opin. Microbiol.* 2012, 15, pp. 561-569.

12. Brinkac L., Voorhies A., Gomez A., Nelson K. E. The Threat of Antimicrobial Resistance on the Human Microbiome. *Microb Ecol.* 2017, 74 (4), pp. 1001-1008.

13. Brooks B. D., Brooks A. E. Therapeutic strategies to combat antibiotic resistance. *Adv Drug Deliv Rev.* 2014, 78, pp. 14-27.

14. Butler M. S., Blaskovich M. A., Cooper M. A. Antibiotics in the clinical pipeline at the end of 2015. *J Antibiot.* 2017, 70 (1), pp. 3-24.

15. Cabello F. C. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environ. Microbiol.* 2006, 8, pp. 1137-1144.

16. Cabello F. C., Godfrey H. P., Tomova A., Ivanova L., Dolz H., Millanao A., Buschmann A. H. Antimicrobial use in aquaculture re-examined: its relevance to antimicrobial resistance and to animal and human health. *Environ. Microbiol.* 2013, 15 (7), pp. 1917-42.

17. Centers for Disease Control and Prevention. Antibiotic resistance threats in the United States, 2013. Available at: <http://www.cdc.gov/drugresistance/threat-report-2013> (accessed: 27.10.2019).

18. Chang H. H., Cohen T., Grad Y. H. Origin and proliferation of multiple-drug resistance in bacterial pathogens. *Microbiol mol Biol rev.* 2015, 79 (1), pp. 101-16.

19. Denel-Bobrowska M., Lukawska M., Bukowska B. Molecular mechanism of action of oxazolinonanthracyclines in cells derived from human solid tumor. Part 2. *Toxicol In Vitro.* 2018, 46, pp. 323-334.

20. Desiderato A., Barbeitos M., Gilbert C., Da Lage J. L. Horizontal Transfer and Gene Loss Shaped the Evolution of Alpha-Amylases in Bilaterians. *G3: Genes, Genomes, Genetics.* 2019, 6, p. 1534.

21. Dorr T., Lewis K., Vulic M. SOS response induces persistence to fluoroquinolones in *Escherichia coli*. *PLoS Genet.* 2009, 5, p. 760.

22. Gullberg E., Cao S., Berg O. G. Selection of resistant bacteria at very low antibiotic concentrations. *PLoS Pathog.* 2011, 7, p.158.

23. Hernando-Amado S., Sanz-Garcia F., Martinez J. L. Antibiotic Resistance Evolution Is Contingent on the Quorum-Sensing Response in *Pseudomonas aeruginosa*. *Molecular biology and evolution.* 2019, 36 (10), pp. 2238-2251.

24. Hocquet D., Llanes C., Thouvez M., Kulasekara H. D., Bertrand X. Evidence for induction of integron-based antibiotic resistance by the SOS response in a clinical setting. *PLoS Pathog.* 2012, 8, p. 778.

25. Karkman A., Do T. T., Walsh F., Virta M. P. J. Antibiotic-Resistance Genes in Waste Water. *Trends in microbiology.* 2018, 26 (3), pp. 220-228.

26. Kohanski M. A., Depristo M. A., Collins J. J. Sublethal

antibiotic treatment leads to multidrug resistance via radical-induced mutagenesis. *Mol. Cell.* 2010, 37, pp. 311-320.

27. Konaklieva M. I. Molecular Targets of beta-Lactam-Based Antimicrobials: Beyond the Usual Suspects. *Antibiotics (Basel)*. 2014, 3 (2), pp. 128-142.

28. Livermore D. M. Bacterial resistance: origins, epidemiology, and impact. *Clin. Infect. Dis.* 2003, 36, pp. 11-23.

29. Liu A., Fong A., Becket E. Selective advantage of resistant strains at trace levels of antibiotics: a simple and ultrasensitive color test for detection of antibiotics and genotoxic agents. *Antimicrob. Agents Chemother.* 2011, 55, pp. 1204-1210.

30. Liu Y. Y., Wang Y., Walsh T. R., Yi L. X., Zhang R., Spencer J., et al. Emergence of plasmid-mediated colistin resistance mechanism MCR-1 in animals and human beings in China: a microbiological and molecular biological study. *Lancet Infect Dis.* 2016, 16 (2), pp. 161-168.

31. Lupo A., Coyne S., Berendonk T. U. Origin and evolution of antibiotic resistance: the common mechanisms of emergence and spread in water bodies. *Front microbiol.* 2012, 3 (18), p. 3389.

32. Mao E. F., Lane L., Lee J., Miller J. H. Proliferation of mutators in A cell population. *J. Bacteriol.* 1997, 179, pp. 417-422.

33. Martinez J. L., Rojo F. Metabolic regulation of antibiotic resistance. *FEMS Microbiol Rev.* 2011, 35, pp. 768-89.

34. McEwen S. A., Collignon P. J. Antimicrobial Resistance: a One Health Perspective. *Microbiol Spectr.* 2018, 6 (2). Doi: 10.1128/microbiolspec.ARBA-0009-2017. Review. PubMed PMID: 29600770.

35. Miller C., Thomsen L. E., Gaggero C., Mosseri R., Ingmer H., Cohen S. N. SOS response induction by beta-lactams and bacterial defense against antibiotic lethality. *Science.* 2004, 305, pp. 1629-1631.

36. Newman D. J., Cragg G. M. Natural Products as Sources of New Drugs from 1981 to 2014. *J Nat Prod.* 2016, 79, pp. 629-661.

37. Ogawa W., Onishi M., Ni R., Tsuchiya T., Kuroda T. Functional study of the novel multidrug efflux pump KexD from *Klebsiella pneumoniae*. *Gene.* 2012, 498 (2), pp. 177-182.

38. Perez-Capilla T., Baquero M. R., Gomez-Gomez J. M.,

Ionel A., Martin S., Blazquez J. SOS-independent induction of dinB transcription by beta-lactam-mediated inhibition of cell wall synthesis in *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* 2005, 187, pp. 1515-1518.

39. Poole K. Efflux-mediated antimicrobial resistance. *J. Antimicrob. Chemother.* 2015, 56, pp. 20-51.

40. Rodriguez-Rojas A., Oliver A., Blazquez J. Intrinsic and environmental mutagenesis drive diversification and persistence of *Pseudomonas aeruginosa* in chronic lung infection. *J. Infect. Dis.* 2012, 205, pp. 121-127.

41. Santoro A., Cappello A. R., Madeo M. Interaction of fosfomycin with the glycerol 3-phosphate transporter of *Escherichia coli*. *Biochim Biophys Acta.* 2011, 1810 (12), pp. 1323-1329.

42. Septimus E. J. Antimicrobial Resistance: An Antimicrobial/Diagnostic Stewardship and Infection Prevention Approach. *Med Clin North Am.* 2018, 102 (5), pp. 819-829.

43. Sommer M. O., Dantas G., Church G. M. Functional characterization of the antibiotic resistance reservoir in the human microflora. *Science.* 2009, 325 (5944), pp. 1128-31.

44. Tassoni R., van der Aart, Ubbink M. Structural and functional characterization of the alanine racemase from *Streptomyces coelicolor* A3(2). *Biochem Biophys Res Commun.* 2017, 483 (1), pp. 122-128.

45. Velkov T., Roberts K. D., Nation R. L. Pharmacology of polymyxins: new insights into an 'old' class of antibiotics. *Future microbiol.* 2013, 8 (6), pp. 711-724.

46. Wasfi R., Abd El-Rahman O. A., Zafer M. M., Ashour H. M. Probiotic *Lactobacillus* sp. inhibit growth, biofilm formation and gene expression of caries-inducing *Streptococcus mutans*. *J Cell Mol Med.* 2018, 22 (3), pp. 1972-1983

Контактная информация:

Давидович Наталья Валерьевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры клинической биохимии, микробиологии и лабораторной диагностики ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51
E-mail: nvdavidovich@gmail.com

ВЛИЯНИЕ МЕР АНТИТАБАЧНОЙ ПОЛИТИКИ НА УРОВЕНЬ ГОСПИТАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ОСТРЫМ ИНФАРКТОМ МИОКАРДА И НЕСТАБИЛЬНОЙ СТЕНОКАРДИЕЙ В ТРЕХ РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2020 г. А. В. Концевая, Т. А. Агишина, М. Г. Гамбарян, *Д. В. Дупляков, О. М. Драпкина

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр профилактической медицины»

Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва;

*Самарский областной клинический кардиологический диспансер, г. Самара

Цель: изучить влияние антитабачных мер в рамках Федерального закона № 15-ФЗ на количество госпитализаций пациентов с острыми сердечно-сосудистыми заболеваниями в Самарской и Архангельской областях, Чувашской Республике. *Методом* прерванных временных рядов с помощью пакета программ STATA 15.0, включающей модуль ITS, проанализированы ежемесячные показатели госпитальной заболеваемости острым инфарктом миокарда (ОИМ) и нестабильной стенокардией (НС) в трех регионах Российской Федерации с 01.01.2012 по 31.12.2017 года, а также в группах по полу (мужчины и женщины) и возрасту (0–59 и 60 лет и старше). *Результаты.* Выявлено снижение количества госпитализаций после каждого из этапов антитабачной политики в двух из трех регионов: в Самарской области на 16,3 % в 2013 году и 18,4 % в 2014-м по поводу НС и на 10,6 и 10,5 % соответственно по поводу ОИМ; в Архангельской области – на 14,3 % в 2013 году и 14,4 % в 2014-м по поводу НС, а также 7,5 и 7,7 % соответственно по поводу ОИМ. В Чувашской Республике статистически значимого снижения не обнаружено. Стратификация по полу выявила снижение госпитальной заболеваемости ОИМ и НС у женщин в Самарской и Архангельской областях, а у мужчин только в Самарской области. Процент снижения при НС был выше, чем при ОИМ. Анализ по возрастным группам в Самарской области показал снижение количества госпитализаций по поводу ОИМ и НС в обеих возрастных группах, а в Архангельской области лишь среди лиц старше 60 лет. *Заключение:* антитабачное законодательство, внедренное в России в 2013 и 2014 годах, привело к снижению числа госпитализаций по поводу острых сердечно-сосудистых заболеваний.

Ключевые слова: антитабачное законодательство, острый инфаркт миокарда, нестабильная стенокардия, анализ прерванных временных рядов

IMPACT OF ANTI-TOBACCO POLICY MEASURES ON ACUTE MYOCARDIAL INFARCTION AND UNSTABLE ANGINA HOSPITALIZATION RATES IN THREE RUSSIAN REGIONS

A. V. Kontsevaya, T. A. Agishina, M. G. Gambaryan, *D. V. Duplyakov, O. M. Drapkina

National Medical Research Center for Preventive Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow; *Samara Regional Clinical Cardiological Dispensary, Samara, Russia

Aim: to study the impact of anti-smoking measures within the Federal Law N 15-FL on the number of hospitalization of patients with acute cardiovascular conditions in the Samara and Arkhangelsk Regions and the Chuvash Republic. *Methods:* Monthly hospitalization rates for acute myocardial infarction and unstable angina were analyzed using interrupted time series by means of the STATA 15.0 software package, which includes the ITS module in three regions of the Russian Federation from 01.01.2012 to 31.12.2017, and by gender (men and women) and age (0–59 years and 60 years and older). *Results.* Reduction in hospital incidence after each stage of the anti-tobacco policy was observed in two of the three regions. In the Samara Region we observed a reduction by 16.3 % in 2013 and by 18.4 % in 2014 for unstable angina and by 10.6 % in 2013 and by 10.5 % in 2014 for acute myocardial infarction, respectively. In the Arkhangelsk Region the number of hospitalizations decreased by 14.3 % in 2013 and by 14.4 % in 2014 for unstable angina, and by 7.5 % in 2013 and by 7.7 % in 2014 for acute myocardial infarction. No significant decrease was observed in the Chuvash Republic. Gender stratification revealed a decrease in the hospital incidence of acute myocardial infarction and unstable angina in women in the Samara and Arkhangelsk Regions, and in men - only in the Samara region. The percentage of reduction in unstable angina was higher than in the acute myocardial infarction. An analysis of age groups in the Samara Region showed a decrease in the number of hospitalizations for acute myocardial infarction and unstable angina in both age groups, and in the Arkhangelsk Region only in people over 60 years of age. *Conclusions:* anti-tobacco legislation introduced in Russia in 2013 and 2014 is likely to have contributed to a decrease in the number of hospitalizations for acute cardiovascular diseases, but the effect varied across genders and age-groups.

Key words: anti-smoking legislation, acute myocardial infarction, unstable angina, interrupted time series

Библиографическая ссылка:

Концевая А. В., Агишина Т. А., Гамбарян М. Г., Дупляков Д. В., Драпкина О. М. Влияние мер антитабачной политики на уровень госпитальной заболеваемости острым инфарктом миокарда и нестабильной стенокардией в трех регионах Российской Федерации // Экология человека. 2020. № 5. С. 37–44.

For citing:

Kontsevaya A. V., Agishina T. A., Gambaryan M. G., Duplyakov D. V., Drapkina O. M. Impact of Anti-tobacco Policy Measures on Acute Myocardial Infarction and Unstable Angina Hospitalization Rates in Three Russian Regions. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 37-44.

Сегодня ни у кого не вызывает сомнений пагубное воздействие курения на состояние здоровья [1, 2], включая значительное увеличение риска развития онкологических, сердечно-сосудистых заболеваний и ряда тяжелых инфекций, таких как туберкулез [2]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) разработала международный договор — Рамочную конвенцию по борьбе против табака (РКБТ ВОЗ) [6]. Одним из значимых компонентов борьбы против табака согласно этой конвенции является запрет курения в общественных местах, который включен в законы стран, присоединившихся к РКБТ ВОЗ.

Россия присоединилась к РКБТ ВОЗ в 2008 году. В рамках этой конвенции 23 февраля 2013 года был принят Федеральный закон № 15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака» (Закон № 15-ФЗ). Среди комплекса мер, предусмотренных законом, был поэтапный запрет курения в общественных местах. С 1 июня 2013 года вступил в силу запрет курения в школах, больницах, общественном транспорте, вокзалах, рабочих местах, подъездах жилых домов, на детских площадках, а с 1 июня 2014 года — в поездах дальнего следования, гостиницах, барах, ресторанах, магазинах, на железнодорожных платформах [8]. Важным этапом внедрения любой меры, направленной на укрепление общественного здоровья, является оценка ее эффективности. В Российской Федерации (РФ) проводится ряд исследований, направленных на оценку эффективности внедрения антитабачного законодательства. Так, по методологии ВОЗ, использованной в исследовании Global Adult Tobacco Survey (GATS), показано снижение распространенности постоянного потребления табака с 2009 по 2016 год (с 39,4 до 30,5 %), также значительно сократилась подверженность пассивному курению, в том числе детей и подростков [3].

Запрет курения в общественных местах и другие меры, включенные в Закон № 15-ФЗ, могут давать и другие эффекты, связанные с сокращением заболеваемости и смертности уже в относительно короткий промежуток времени. В зарубежных исследованиях показано, что при условии эффективного внедрения законодательства, направленного на ограничение потребления табака, фиксируется статистически значимое сокращение числа госпитализаций по поводу острого коронарного синдрома и острого инфаркта миокарда, а также связанных с заболеваниями дыхательных путей, такими как бронхиальная астма и пневмония [14, 15]. Следовательно, снижение числа госпитализаций по поводу ряда острых заболеваний может служить критерием эффективности внедрения ряда положений Закона № 15-ФЗ.

В РФ внедрение Закона № 15-ФЗ на региональном уровне характеризовалось определенными особенностями [4], которые могли повлиять на эффективность законодательной меры. Сведения о количестве госпитализаций с определенными заболеваниями являются рутинно собираемыми данными, которые

могут быть использованы при проведении анализа влияния закона, направленного на сокращение потребления табака, в отдельных регионах РФ.

Цель исследования — изучить влияние мер, направленных на снижение потребления табака в рамках Закона № 15-ФЗ, на количество госпитализаций пациентов с острым инфарктом миокарда и нестабильной стенокардией в трех регионах РФ (Самарская и Архангельская области, Чувашская Республика).

Методы

Проведено ретроспективное исследование с анализом данных о госпитализациях за 2012–2017 годы по определенным кодам МКБ-10 в трех регионах РФ.

Учитывая международный опыт, для оценки эффективности российского антитабачного законодательства анализу были подвергнуты острые сердечно-сосудистые заболевания: острый инфаркт миокарда (МКБ-10 I21, I22) и нестабильная стенокардия (МКБ-10 I20). Нами проанализированы ежемесячные показатели госпитализации по поводу острого инфаркта миокарда (ОИМ) и нестабильной стенокардии (НС) в Самарской и Архангельской областях, Чувашской Республике с января 2012 по декабрь 2017 года включительно. Выбор регионов был обусловлен тем, что данные субъекты РФ были включены в программу мониторинга реализации Федерального закона № 15-ФЗ [4]. Сведения были предоставлены территориальными фондами обязательного медицинского страхования этих регионов по специальному запросу, подготовленному в формате таблиц Excel.

Анализ проводился методом interrupted time series (ITS) — анализ прерванных временных рядов [10]. Метод ITS был разработан для оценки эффективности популяционных мер, например, внедрения законодательства, направленного на сокращение потребления табака. Для данного анализа необходима конкретная временная точка (или короткий промежуток времени), в которой было проведено какое-либо вмешательство, а также не менее 6–9 одинаковых временных промежутков (месяцев и др.) до и после вмешательства [12, 16, 20] для их сравнения. В настоящем исследовании были взяты две контрольные точки — 06.2013 и 06.2014 в соответствии с этапами внедрения мер Закона № 15-ФЗ. Использовали абсолютные показатели количества госпитализаций в стационары по выделенным кодам МКБ-10.

В исследовании ITS временной ряд используется для установления базового тренда, который «прерывается» вмешательством в известный момент времени. Другими словами, метод ITS используется для определения уровневых изменений, а также изменений тренда (наклона) [10, 17].

Мы исследовали показатели ежемесячных госпитализаций по поводу ОИМ и НС среди всего населения в целом, а также в подгруппах по полу (мужчины и женщины) и возрасту (0–59 лет и 60 лет и старше). Выделить более мелкие подгруппы не представляется

возможным по причине небольшого количества наблюдений.

Анализ проводили с помощью пакета программ STATA 15.0, которая включает модуль ITS.

Результаты

На рис. 1 представлены результаты оценки динамики количества госпитализаций методом ITS по поводу ОИМ в трех регионах на протяжении 2012–2017 годов, а на рис. 2 – аналогичные показатели в отношении НС. В 2013 году в Самарской области уменьшение количества госпитализаций по поводу ОИМ составило 10,6 %, а в 2014-м 10,5 %. В Архангельской области снижение количества госпитализаций по поводу ОИМ составило 7,5 % в 2013 году и 7,7 % в 2014-м. Снижение количества госпитализаций по поводу НС в 2013 году в Самар-

ской области составило 16,3 %, а в 2014 году 18,4 %. В Архангельской области аналогичные показатели составили 14,3 и 14,4 % в 2013 и 2014 годах соответственно.

В Чувашской Республике статистически значимая динамика показателей госпитализации с ОИМ и НС отсутствовала. Обращает на себя внимание тренд на повышение количества госпитализаций с ОИМ во всех трех регионах и разнонаправленность тренда госпитализаций с НС с увеличением в Самарской и Архангельской областях и существенным снижением в Чувашской Республике.

В таблице представлена динамика количества госпитализаций по поводу ОИМ и НС в двух возрастных группах и у мужчин и женщин. Выявлены существенные гендерные различия динамики показателей госпитализаций в регионах. В Самарской

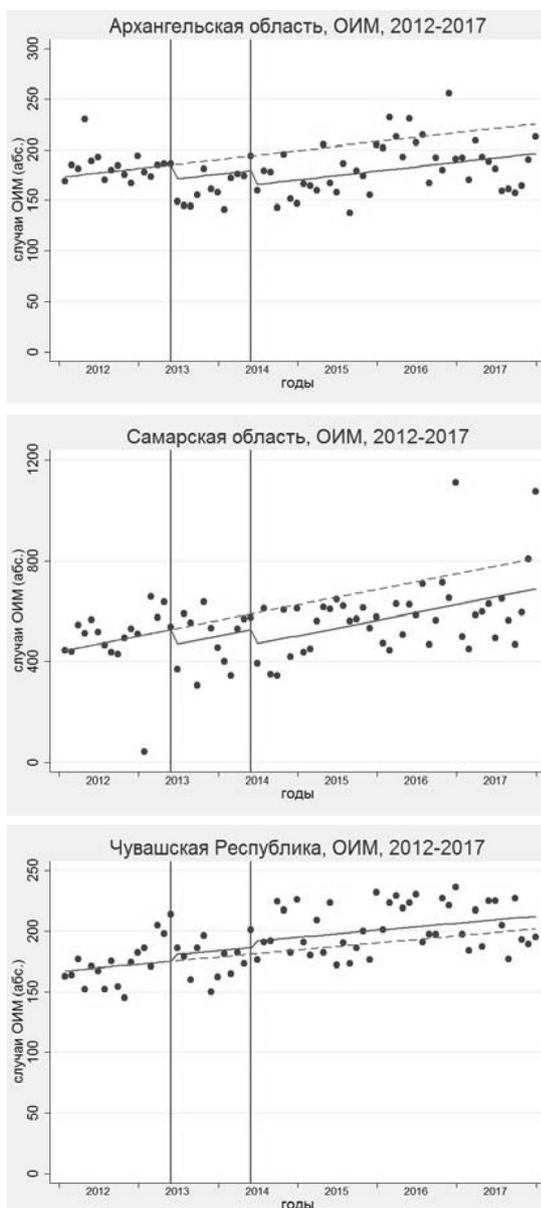


Рис. 1. Динамика госпитальной заболеваемости острым инфарктом миокарда в трех регионах Российской Федерации в 2012–2017 гг.

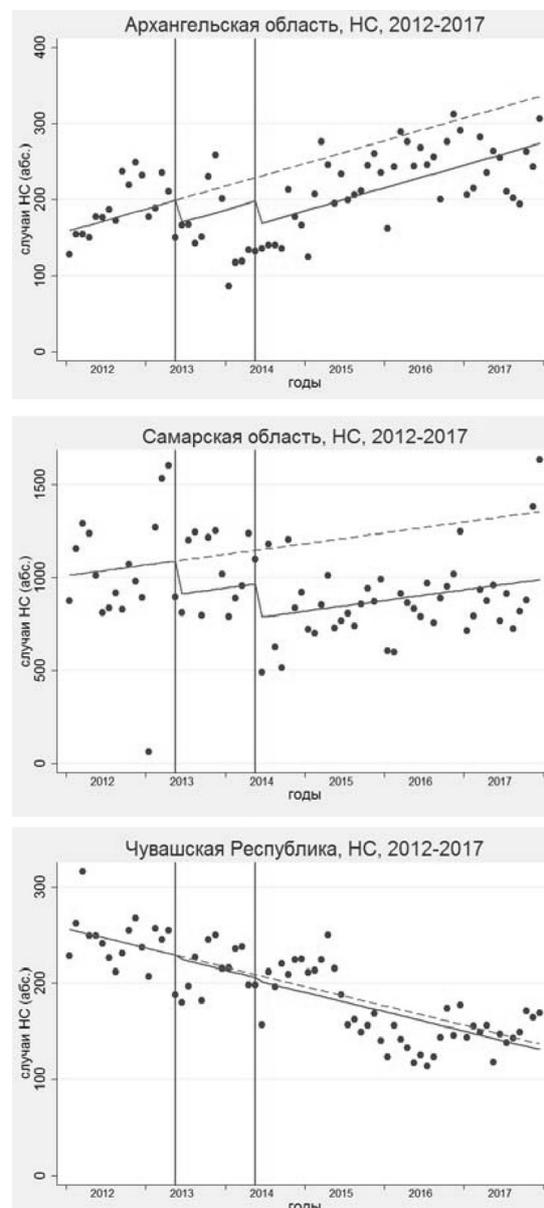


Рис. 2. Динамика госпитальной заболеваемости нестабильной стенокардией в трех регионах Российской Федерации в 2012–2017 гг.

Динамика госпитальной заболеваемости острым инфарктом миокарда и нестабильной стенокардией в трех регионах Российской Федерации в 2012–2017 гг. среди мужчин и женщин и в отдельных возрастных группах, %

Регион		Все		Возраст, лет				Пол			
				0–59		60 и больше		Муж		Жен	
		2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Самарская область	НС	-16,3 (p=0,011)	-18,4 (p=0,011)	-17,7 (p=0,006)	-20,9 (p=0,006)	-15,7 (p=0,017)	-17,4 (p=0,017)	-15,9 (p=0,015)	-17,8 (p=0,015)	-16,6 (p=0,011)	-18,8 (p=0,011)
	ОИМ	-10,6 (p=0,014)	-10,5 (p=0,014)	-12,1 (p=0,009)	-12,0 (p=0,009)	-9,8 (p=0,024)	-9,9 (p=0,024)	-10,4 (p=0,005)	-10,2 (p=0,005)	-10,9 (p=0,003)	-11,1 (p=0,003)
Архангельская область	НС	-14,3 (p=0,012)	-14,4 (p=0,012)	+4,9 (p=0,464)	+4,6 (p=0,464)	-22,7 (p=0,0)	-23,5 (p=0,0)	-2,0 (p=0,624)	-2,0 (p=0,624)	-24,9 (p=0,0)	-27,7 (p=0,0)
	ОИМ	-7,5 (p=0,026)	-7,7 (p=0,026)	-6 (p=0,156)	-7,0 (p=0,156)	-7,8 (p=0,019)	-7,9 (p=0,019)	-4,0 (p=0,259)	-4,0 (p=0,259)	-11,4 (p=0,006)	-12,3 (p=0,006)
Чувашская Республика	НС	+2,1 (p=0,697)	+2,3 (p=0,697)	+2,8 (p=0,389)	+3,1 (p=0,389)	-4,6 (p=0,26)	-5,2 (p=0,26)	-3,5 (p=0,432)	-3,0 (p=0,432)	-0,9 (p=0,906)	-0,5 (p=0,906)
	ОИМ	+3,3 (p=0,321)	+3,1 (p=0,321)	+2,5 (p=0,678)	+2,4 (p=0,678)	+3,7 (p=0,349)	+3,5 (p=0,349)	+4,2 (p=0,304)	+3,9 (p=0,304)	+1,8 (p=0,710)	+2,9 (p=0,710)

Примечание. p – статистически значимое изменение временного тренда госпитальной заболеваемости относительно анализируемой точки июнь 2013 или июнь 2014.

области получена статистически значимая динамика показателей госпитализаций по поводу НС как у мужчин, так и у женщин. Так, снижение количества госпитализаций с НС у мужчин в 2013 и 2014 годах составило 15,9 и 17,8 %, а у женщин 16,6 и 18,8 %. Количество госпитализаций при ОИМ статистически значимо снизилось только у мужчин (в 2013 г. на 10,4 %, в 2014 – на 10,2 %), тогда как у женщин снижение было статистически не значимым. Процент снижения госпитальной заболеваемости по поводу НС был выше, чем по поводу ОИМ. В Архангельской области получены существенные гендерные различия динамики количества госпитализаций с ОИМ и НС. У мужчин снижение было незначительным и статистически не значимым, а у женщин значительным. Так, количество госпитализаций с НС у женщин снизилось на 24,9 и 27,7 % в 2013 и 2014 годах, а госпитализаций с ОИМ на 11,4 и 12,3 % соответственно. В Чувашской Республике динамики количества госпитализаций с ОИМ и НС в исследуемых временных точках не отмечено.

При анализе динамики госпитализаций с ОИМ и НС в возрастных группах 0–59 лет и 60 лет и старше также выявлены существенные региональные различия. В Самарской области получено статистически значимое снижение количества госпитализаций с обоими анализируемыми заболеваниями и в группе 0–59 лет, и в группе 60 лет и старше. Причем снижение количества госпитализаций с ОИМ в возрастной группе 0–59 лет было большим. Так, в этой группе количество госпитализаций снизилось в 2013 и 2014 годах на 12,1 и 12,0 % соответственно, а в группе 60 лет и старше на 9,8 и 9,9 %. Количество госпитализаций с НС среди лиц в возрасте 0–59 лет сократилось на 17,7 и 20,9 % в 2013 и 2014 годах, а среди пациентов 60 лет и старше на 15,7 и 17,4 % соответственно. В Архангельской области статистически значимого снижения количества госпитализаций с НС и ОИМ у лиц в возрасте 0–59 лет не было выявлено; статистически значимое снижение выявлено лишь у лиц старше 60 лет. Так, количество госпитализаций с

НС в Архангельской области у лиц в возрасте 60 лет и старше в 2013 и 2014 годах снизились на 22,7 и 23,5 %, а с ОИМ на 7,8 и 7,9 % соответственно.

В Чувашской Республике не выявлено снижения количества госпитализаций ни в одной подгруппе.

Обсуждение результатов

В настоящем исследовании методом ITS изучена динамика абсолютного количества госпитализаций с ОИМ и НС в трех регионах РФ в отношении двух временных точек 1 июня 2013 и 1 июня 2014 года, когда вступали в действие пакеты мер Закона № 15-ФЗ. Продемонстрировано снижение количества госпитализаций в двух из трех анализируемых регионов.

Учитывая тот факт, что курение является одним из ведущих факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), и сохраняющуюся высокую распространенность курения в России, важно оценить влияние Закона № 15-ФЗ на здоровье населения РФ с учетом региональных особенностей. Наиболее чувствительным и ранним показателем эффективности мер, направленных на сокращение потребления табака, и в особенности запрета курения в общественных местах, является снижение количества госпитализаций с острыми ССЗ. Поэтому для анализа были выбраны ОИМ и НС. По данным ряда зарубежных исследований, количество госпитализаций с острыми ССЗ снижается в первые же месяцы после введения законодательства, запрещающего курение в общественных местах, от 1,8 до 40,0 % [9,11,13–15,19, 21–23] и до 47,0 % за последующие несколько лет [18].

В Испании и Канаде, как и в России, проводилось поэтапное введение антитабачного законодательства. Исследователи отмечают немедленное и более выраженное снижение числа госпитализаций по поводу острых ССЗ после полного запрета курения в общественных местах по сравнению с частичным его ограничением [13, 19]. В нашем исследовании мы получили аналогичные результаты – в 2014 году, когда в России вступил в силу полный запрет курения

в общественных местах (в т.ч. в барах, ресторанах), наблюдается дополнительное снижение числа госпитализаций, равное или несколько превышающее эффект мер, внедренных в 2013 году.

В некоторых исследованиях также отмечен более высокий показатель снижения госпитализаций по поводу НС по сравнению с ОИМ [14, 19]. Так, например, в штате Аризона (США) после введения антитабачного законодательства Негман Р. М. et al. выявили снижение количества госпитализаций по поводу ОИМ на 13 %, а по поводу НС на 33 % [14]. Наше исследование также выявило заметное различие в снижении уровней госпитализации с ОИМ и НС, так, в Самарской области в 2014 году снижение составило 10,5 % при ИМ и 18,4 % при НС, в Архангельской области аналогичные показатели составили 7,7 и 14,4 %.

Исследования различия влияния мера антитабачного законодательства на количество госпитализаций с острыми ССЗ у мужчин и женщин продемонстрировали смешанные результаты. В исследовании Alisa Naiman et al. и Sargent J. D. et al., проведенном в Канаде, не выявлено различий в снижении числа госпитализаций по возрасту и полу [19, 21], тогда как в Италии и Португалии при стратификации по полу снижение количества случаев острого коронарного синдрома было более выраженным у мужчин, чем у женщин [9, 11]. А в Англии и Франции после введения запрета курения в общественных местах снижение числа госпитализаций по поводу ОИМ было наиболее высоким у женщин в старшей возрастной группе [23]. Наши результаты также показывают несколько более высокий процент снижения госпитализаций по поводу НС и ОИМ у женщин.

При сравнении числа госпитализаций по поводу острых ССЗ в группах по возрасту результаты исследований также разнородны. Одни авторы [11, 21] показали снижение количества госпитализаций преимущественно в молодом возрасте, а другие [9, 13] — в пожилом. При анализе наших данных мы видим разницу в двух регионах: в Самарской области более значимое снижение уровня госпитализаций наблюдается в возрасте до 60 лет, а в Архангельской области — в возрасте старше 60 лет.

В ряде случаев могут быть выявлены особенности влияния мер, направленных на ограничение потребления табака даже в пределах одной небольшой страны. Например, при изучении эффекта внедрения закона, запрещающего курение в общественных местах, по регионам в Португалии исследователи показали, что единственным регионом со значительным снижением острых ССЗ после реализации запрета курения в общественных местах был Лиссабон [9]. В остальных регионах существенных изменений не продемонстрировано. Авторы предполагают, что это может быть связано с тем, что в Лиссабоне большее количество людей посещает кафе, бары и рестораны по сравнению с сельскими жителями, а также с сокращением пассивного курения. В нашем исследовании мы также

выявили разницу в результатах даже в относительно небольшом количестве регионов. В одном регионе (Чувашская Республика) эффекта внедрения мер Закона № 15-ФЗ на госпитальную заболеваемость не было выявлено ни в 2013, ни в 2014 году. В Самарской области статистически значимый эффект мер Закона № 15-ФЗ был выявлен в обеих временных точках 2013 и 2014 годов по обоим диагнозам — ОИМ и НС. Снижение госпитальной заболеваемости наблюдалось во всех анализируемых подгруппах по полу и возрасту, кроме одной — у женщин снижение количества госпитализаций по поводу ОИМ было статистически не значимым. Во всех остальных подгруппах снижение было статистически значимым, хотя и варьировало в зависимости от диагноза и половозрастной группы. Процент снижения госпитализаций с ОИМ и НС был несколько выше у лиц моложе 60 лет. Процент снижения госпитализаций по поводу НС был выше у женщин. В Архангельской области в целом зафиксирован статистически значимый эффект закона, направленного на ограничение потребления табака в РФ, хотя величина эффекта была меньше в абсолютных значениях по сравнению с Самарской областью. А вот при анализе эффекта закона в подгруппах по полу и возрасту снижение числа госпитализаций было выявлено не во всех подгруппах. В Архангельской области не установлено статистически значимого снижения количества госпитализаций у лиц моложе 60 лет ни в отношении ОИМ, ни в отношении НС (в Самарской области процент снижения госпитализаций в этой возрастной группе был выше, чем в группе лиц 60 лет и старше); также не выявлено статистически значимого снижения количества госпитализаций у мужчин (в Самарской области снижение госпитализаций с ОИМ и НС в этой подгруппе было).

Отсутствие эффекта мер Закона № 15-ФЗ в Чувашской Республике в отношении снижения количества госпитализаций по причине ОИМ и НС в 2013 и 2014 годах, вероятно, связано с особенностями региональной политики против потребления табака. Чувашская Республика — один из первых регионов в России, которые приняли антитабачное законодательство на региональном уровне. Так, уже 29 ноября 2004 года президентом Чувашской Республики был подписан Указ № 129 «О профилактике курения табака», где в п.3 администрациям районов и городов республики рекомендовано принять меры, ограничивающие реализацию табачных изделий, и оборудовать в зданиях специальные места для курения табака [7]. С целью реализации данного указа Кабинет министров Чувашской Республики принял Постановление № 33 от 11 февраля 2005 г. «О республиканской программе по ограничению курения табака в Чувашской Республике на 2005–2007 годы», где оговаривается необходимость принятия мер по запрещению курения табака на рабочих местах, в городском, пригородном транспорте, закрытых спортивных сооружениях, учреждениях здравоохранения,

образования, культуры, помещениях, занимаемых органами государственной власти, за исключением специально отведенных мест [5]. В Чувашской Республике работа по борьбе с курением началась намного раньше, чем на остальной территории РФ, и меры, включенные в Закон № 15-ФЗ, на момент его внедрения были уже полностью или частично реализованы. В этой республике внедряется стабильная антитабачная политика, опережающая Федеральное законодательство. Отсутствие эффекта в Республике Чувашия является косвенным подтверждением значимости использованной методики ITS для оценки эффективности действия мер Закона № 15-ФЗ на госпитальную заболеваемость острыми ССЗ.

Различия эффектов мер Закона № 15-ФЗ в Самарской и Архангельской областях могут быть обусловлены как особенностями его внедрения, так и образом жизни населения, распространенностью активного курения, степенью подверженности пассивному курению.

Выводы

Настоящее исследование показало, что внедренное в 2013 и 2014 годах законодательство, направленное на ограничение потребления табака и пассивного курения в РФ (Закон № 15-ФЗ), приводит к статистически значимому снижению числа госпитализаций по поводу ОИМ и НС. Продемонстрированы региональные различия влияния мер Закона № 15-ФЗ на госпитальную заболеваемость ОИМ и НС, которые могут быть связаны как с особенностями внедрения законодательства на региональном уровне, так и с особенностями региона, образа жизни населения (например, степени подверженности пассивному курению и др.). Поскольку для этой методики нужны лишь рутинно собираемые в территориальных фондах данные о госпитализациях и статистическая программа, то предложенный метод может стать одним из подходов к анализу эффективности антитабачного законодательства.

Полученные данные еще раз подтверждают важность мер, направленных на ограничение потребления табака, для укрепления общественного здоровья.

Вклад авторов

Концевая А. В. — разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, редактирование рукописи; Агишина Т. А. — написание текста рукописи; Гамбарян М. Г. — обзор публикаций по теме, редактирование рукописи; Дупляков Д. В. — получение данных для анализа; Драпкина О. М. — редактирование рукописи, одобрение в печать.

Концевая Анна Васильевна — ORCID 0000-0003-2062-1536; SPIN 6787-2500

Агишина Татьяна Александровна — ORCID 0000-0002-0319-2242; SPIN 2100-9214

Гамбарян Маринэ Генриевна — ORCID 0000-0003-4018-8645; SPIN 9630-8272

Дупляков Дмитрий Викторович — ORCID 0000-0002-6453-2976; SPIN 5665-9578

Драпкина Оксана Михайловна — ORCID 0000-0002-4453-8430; SPIN 4456-1297

Список литературы

1. Бойцов С. А., Демкина А. Е., Ощепкова Е. В., Долгушева Ю. А. Достижения и проблемы практической кардиологии в России на современном этапе // Кардиология. 2019. Т. 59, № 3. С. 53–59; doi:10.18087/cardio.2019.3.10242.
2. Гамбарян М. Г., Драпкина О. М. Хроническая обструктивная болезнь легких и курение табака: принципы и пути профилактики (обзор) // Профилактическая медицина. 2017. Т. 20, № 5. С. 74–82; doi:10.17116/profmed201720574-82.
3. Гамбарян М. Г., Драпкина О. М. Распространенность потребления табака в России: динамика и тенденции. Анализ результатов глобальных и национальных опросов // Профилактическая медицина. 2018. Т. 21, № 5. С. 45–62; doi: 10.17116/profmed20182105145.
4. Гамбарян М. Г., Бойцов С. А. О ходе мониторинга реализации Федерального закона № 15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака» в субъектах Российской Федерации // Профилактическая медицина. 2015. Т. 18, № 5. С. 15–28; doi:10.17116/profmed201518515-28.
5. Постановление Кабинета Министров Чувашской Республики от 11 февраля 2005 г. № 33 «О республиканской программе по ограничению курения табака в Чувашской Республике на 2005–2007 годы» // Собрание законодательства Чувашской Республики. 2005. № 2. Ст. 84. URL: <https://base.garant.ru/17620234/> (дата обращения: 03.12.2019).
6. Рамочная конвенция ВОЗ по борьбе против табака. Обновленная перепечатка / Всемирная организация здравоохранения. Женева, 2005. 39 с. URL: <https://www.who.int/ictc/ru/> (дата обращения: 28.11.2019).
7. Указ Президента Чувашской Республики № 129 от 29 ноября 2004 года «О профилактике курения табака» // Собрание законодательства Чувашской Республики. 2004. № 11. Ст. 747. URL: <https://base.garant.ru/17620098/> (дата обращения: 03.12.2019).
8. Федеральный закон от 23.02.2013 № 15-ФЗ «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака» URL: <https://www.rosminzdrav.ru/documents/5736-federalnyy-zakon-15-fz-ot-23-fevralya-2013-g> (дата обращения: 12.11.2019).
9. Abreu D., Sousa P., Matias-Dias C., Pinto F. J. Longitudinal impact of the smoking ban legislation in acute coronary syndrome admissions // BioMed Research International. 2017. Vol. 1–7; <https://doi.org/10.1155/2017/6956941>.
10. Bernal J. L., Cummins S., Gasparrini A. Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: a tutorial // International Journal of Epidemiology. 2017. Vol. 46 (1). P. 348–355; doi: 10.1093/ije/dyw098.
11. Cesaroni G., Forastiere F., Agabiti N., Valente P., Zuccaro P., Perucci C. A. Effect of the Italian Smoking Ban on Population Rates of Acute Coronary Events // Circulation. 2008. Vol. 117. P. 1183–1188; doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.107.729889.
12. Fretheim A., Zhang F., Ross-Degnan D., Oxman A. D., Cheyne H., Foy R., Goodacre S., Herrin J., Kerse N., McKinlay R. J., Wright A., Soumerai S. B. A reanalysis of cluster randomized trials showed interrupted time-series studies were valuable in health system evaluation // Journal of Clinical Epidemiology. 2015. Vol. 68. P. 324–333; doi:10.1016/j.jclinepi.2014.10.003.
13. Galan I., Simon L., Boldo E., Ortiz C., Medrano M. J.,

Fernandez-Cuenca R., Linares C., Pastor-Barriuso R. Impact of 2 Successive Smoking Bans on Hospital Admissions for Cardiovascular Diseases in Spain // *Rev Esp Cardiol*. (English Edition). 2017; <https://doi.org/10.1016/j.rec.2017.10.055>

14. Herman P. M., Walsh M. E. Hospital Admissions for Acute Myocardial Infarction, Angina, Stroke, and Asthma after Implementation of Arizona's Comprehensive Statewide Smoking Ban // *American Journal of Public Health*. 2011. Vol. 101 (3). P. 491–496; doi:10.2105/AJPH.2009.179572.

15. Humair J.-P., Garin N., Gerstel E., Carballo S., Carballo D., Keller P.-F., Guessous I. Acute Respiratory and Cardiovascular Admissions after a Public Smoking Ban in Geneva, Switzerland // *PLoS One*. 2014. Vol. 9 (3). P. e90417; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090417>.

16. Jandoc R., Burden A. M., Mamdani M., Levesque L. E., Cadarette S. M. Interrupted time series analysis in drug utilization research is increasing: systematic review and recommendations // *Journal of Clinical Epidemiology*. 2015. Vol. 68. P. 950–956; doi:10.1016/j.jclinepi.2014.12.018.

17. Linden A., Adams J. L. Applying a propensity score-based weighting model to interrupted time series data: improving causal inference in programme evaluation // *J Eval Clin Pract*. 2011 Dec. Vol. 17 (6). P. 1231–1238; doi:10.1111/j.1365-2753.2010.01504.x.

18. Liu A., Castillo M. G., Capewell S., Lucy J., O'Flaherty M. Reduction in myocardial infarction admissions in Liverpool after the smoking ban: potential socioeconomic implications for policymaking // *BMJ Open*. 2013. Vol. 3. P. e003307; doi:10.1136/bmjopen-2013-003307.

19. Naiman A., Glazier R. H., Moineddin R. Association of anti-smoking legislation with rates of hospital admission for cardiovascular and respiratory conditions // *CMAJ*. 2010. Vol. 182(8). P. 761–767; <https://doi.org/10.1503/cmaj.091130>.

20. Penfold R. B., Zhang F. Use of Interrupted Time Series Analysis in Evaluating Health Care Quality Improvements // *Academic Pediatrics*. 2013. Vol. 13. P. 38–44; doi:10.1016/j.acap.2013.08.002.

21. Sargent J. D., Demidenko E., Malenka D. J., Li Z., Gohlke H., Hanewinkel R. Smoking restrictions and hospitalization for acute coronary events in Germany // *Clinical Research in Cardiology*. 2012. Vol. 101. P. 227–235; doi:10.1007/s00392-011-0385-1.

22. Se'guret F., Ferreira C., Cambou J.-P., Carrière I., Thomas D. Changes in hospitalization rates for acute coronary syndrome after a two-phase comprehensive smoking ban // *European Journal of Preventive Cardiology*. 2014. Vol. 21(12). P. 1575–1582; doi:10.1177/2047487313500569.

23. Sims M., Maxwell R., Bauld L., Gilmore A. Short term impact of smoke-free legislation in England: retrospective analysis of hospital admissions for myocardial infarction // *BMJ*. 2010. Vol. 340. P. c2161; <https://doi.org/10.1136/bmj.c2161>.

References

1. Boitsov S. A., Demkina A. E., Oshepkova E. V., Dolgusheva Yu. A. Achievements and problems of practical cardiology in Russia at the present stage. *Cardiologiya*. 2019, 59 (3), pp. 53–59; doi:10.18087/cardio.2019.3.10242.

2. Gambaryan M. G., Drapkina O. M. Chronic obstructive pulmonary disease and tobacco smoking: principles and ways of prevention (review). *Profilakticheskaya meditsina* [Preventive medicine]. 2017, 20 (5), pp. 74–82; doi:10.17116/profmed201720574-82.

3. Gambaryan M. G., Drapkina O. M. Prevalence of tobacco use in Russia: dynamics and trends. Analysis of

the results of global and national polls. *Profilakticheskaya meditsina* [Preventive medicine]. 2018, 21 (5), pp. 45–62; doi:10.17116/profmed20182105145.

4. Gambaryan M. G., Boitsov S. A. About the course of monitoring of implementation of Federal law N 15-FZ “On protection of health of the citizens from exposure to environmental tobacco smoke and consequences of tobacco use” in subjects of the Russian Federation. *Profilakticheskaya meditsina* [Preventive medicine]. 2015, 18 (5), pp. 15–28; doi:10.17116/profmed201518515-28.

5. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Chuvash Republic from 11.02.2005 N 33 “On the Republican program for limiting tobacco Smoking in the Chuvash Republic for 2005–2007”. *Sobranie zakonodatelstva Chuvashskoi Respubliki* [Collection of legislation of the Chuvash Republic]. 2005, 2, p. 84. Available at: <https://base.garant.ru/17620234/> (accessed: 03.12.2019).

6. *World Health Organization Framework Convention on Tobacco Control*. World Health Organization, Geneva. 2005, 39 p. [In Russian]. Available at: <https://www.who.int/ictc/ru/> (accessed: 28.11.2019).

7. Decree of the President of the Chuvash Republic N 129 from 29.11.2004 “On prevention of tobacco smoking”. *Sobranie zakonodatelstva Chuvashskoi Respubliki* [Collection of legislation of the Chuvash Republic]. 2004, 11, p. 747. Available at: <https://base.garant.ru/17620098/> (accessed: 03.12.2019).

8. *Federal law from 23.02.2013 N 15-FZ “On protection of health of the citizens from exposure to environmental tobacco smoke and consequences of tobacco use”*. [In Russian]. Available at: <https://www.rosminzdrav.ru/documents/5736-federalnyy-zakon-15-fz-ot-23-fevralya-2013-g> (accessed: 12.11.2019).

9. Abreu D., Sousa P., Matias-Dias C., Pinto F. J. Longitudinal impact of the smoking ban legislation in acute coronary syndrome admissions. *BioMed Research International*. 2017, 1–7; <https://doi.org/10.1155/2017/6956941>.

10. Bernal J. L., Cummins S., Gasparini A. Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: a tutorial. *International Journal of Epidemiology*. 2017, 46(1), pp. 348–355; doi:10.1093/ije/dyw098.

11. Cesaroni G., Forastiere F., Agabiti N., Valente P., Zuccaro P., Perucci C. A. Effect of the Italian Smoking Ban on Population Rates of Acute Coronary Events. *Circulation*. 2008, 117, pp. 1183–1188; doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.107.729889.

12. Fretheim A., Zhang F., Ross-Degnan D., Oxman A. D., Cheyne H., Foy R., Goodacre S., Herrin J., Kerse N., McKinlay R. J., Wright A., Soumerai S. B. A reanalysis of cluster randomized trials showed interrupted time-series studies were valuable in health system evaluation. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2015, 68, pp. 324–333; doi:10.1016/j.jclinepi.2014.10.003.

13. Galan I., Simon L., Boldo E., Ortiz C., Medrano M. J., Fernandez-Cuenca R., Linares C., Pastor-Barriuso R. Impact of 2 Successive Smoking Bans on Hospital Admissions for Cardiovascular Diseases in Spain. *Rev Esp Cardiol* (English Edition). 2017; <https://doi.org/10.1016/j.rec.2017.10.055>.

14. Herman P. M., Walsh M. E. Hospital Admissions for Acute Myocardial Infarction, Angina, Stroke, and Asthma after Implementation of Arizona's Comprehensive Statewide Smoking Ban. *American Journal of Public Health*. 2011, 101 (3), pp. 491–496; doi:10.2105/AJPH.2009.179572.

15. Humair J.-P., Garin N., Gerstel E., Carballo S., Carballo D., Keller P.-F., Guessous I. Acute Respiratory and

Cardiovascular Admissions after a Public Smoking Ban in Geneva, Switzerland. *PLoS One*. 2014, 9 (3), p. e90417; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090417>.

16. Jandoc R., Burden A. M., Mamdani M., Levesque L. E., Cadarette S. M. Interrupted time series analysis in drug utilization research is increasing: systematic review and recommendations. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2015, 68, pp. 950-956; doi:10.1016/j.jclinepi.2014.12.018.

17. Linden A., Adams J. L. Applying a propensity score-based weighting model to interrupted time series data: improving causal inference in programme evaluation. *J Eval Clin Pract*. 2011 Dec, 17 (6), pp. 1231-8; doi:10.1111/j.1365-2753.2010.01504.x.

18. Liu A., Castillo M. G., Capewell S., Lucy J., O'Flaherty M. Reduction in myocardial infarction admissions in Liverpool after the smoking ban: potential socioeconomic implications for policymaking. *BMJ Open*. 2013, 3, p. e003307; doi:10.1136/bmjopen-2013-003307.

19. Naiman A., Glazier R. H., Moineddin R. Association of anti-smoking legislation with rates of hospital admission for cardiovascular and respiratory conditions. *CMAJ*. 2010, 182 (8), pp. 761-767; <https://doi.org/10.1503/cmaj.091130>.

20. Penfold R. B., Zhang F. Use of Interrupted Time Series Analysis in Evaluating Health Care Quality Improvements.

Academic Pediatrics. 2013, 13, pp. 38-44; doi:10.1016/j.acap.2013.08.002.

21. Sargent J. D., Demidenko E., Malenka D. J., Li Z., Gohlke H., Hanewinkel R. Smoking restrictions and hospitalization for acute coronary events in Germany. *Clinical Research in Cardiology*. 2012, 101, pp. 227-235; doi:10.1007/s00392-011-0385-1.

22. Se'guret F., Ferreira C., Cambou J.-P., Carrière I., Thomas D. Changes in hospitalization rates for acute coronary syndrome after a two-phase comprehensive smoking ban. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2014, 21 (12), pp. 1575-1582; doi:10.1177/2047487313500569.

23. Sims M., Maxwell R., Bauld L., Gilmore A. Short term impact of smoke-free legislation in England: retrospective analysis of hospital admissions for myocardial infarction. *BMJ*. 2010, 340, p.c2161; <https://doi.org/10.1136/bmj.c2161>.

Контактная информация:

Концевая Анна Васильевна — доктор медицинских наук, первый заместитель директора по научной и аналитической работе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр профилактической медицины» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Адрес: 101990, г. Москва, Петроверигский пер., д. 10-3
E-mail: koncanna@yandex.ru

АТМОСФЕРНЫЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ И РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ СРЕДИ ДЕТЕЙ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

© 2020 г. Н. М. Агарков, А. В. Пошибайлова, *В. А. Иванов

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск;
*ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет», г. Курск

Бронхиальная астма у детей представляет распространенную и тяжелую патологию и может быть причиной жизнеугрожающих осложнений. Развитие бронхиальной астмы в детском возрасте определяется выявлением различных факторов, среди которых важная роль принадлежит загрязненному воздуху. Показано воздействие загрязнения воздуха квартир и школ, твердых частиц на распространенность бронхиальной астмы среди детей разных стран мира. Повышение заболеваемости бронхиальной астмой в детском возрасте коррелирует с содержанием в воздухе твердых частиц размером менее 10 мкм, оксида азота, оксида серы, монооксида углерода. Представленные данные имеют практическое значение для организации мониторинга и профилактики бронхиальной астмы среди детей.

Ключевые слова: бронхиальная астма, дети, атмосферные загрязнители

ATMOSPHERIC POLLUTANTS AND PREVALENCE OF ASTHMA AMONG CHILDREN: A REVIEW

N. M. Agarkov, A. V. Poshibailova, *V. A. Ivanov

Southwest State University, Kursk; *Kursk State Medical University, Kursk, Russia

Asthma is a common and severe pathology in children with a potential for life-threatening complications. The development of asthma in childhood is determined by a complex interplay between various aetiological factors. Air pollution is one of the most important environmental factors contributing to the development of asthma in children. This review summarizes the available evidence on the impact of air pollution on the prevalence of asthma among children in different countries. The increase in the prevalence of asthma in childhood correlates with the concentrations of particulate matter <10 microns, nitrogen oxide, sulfur oxide and carbon monoxide in the air. The results of this review are of practical importance for development of public health measures for monitoring and prevention of asthma among children.

Key words: asthma, children, air pollutants

Библиографическая ссылка:

Агарков Н. М., Пошибайлова А. В., Иванов В. А. Атмосферные загрязнители и распространенность бронхиальной астмы среди детей: обзор литературы // Экология человека. 2020. № 5. С. 45–49.

For citing:

Agarkov N. M., Poshibailova A. V., Ivanov V. A. Atmospheric Pollutants and Prevalence of Asthma Among Children: a Review. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 45-49.

Бронхиальная астма (БА) представляет актуальную проблему современной педиатрии и медицины в целом. Полученные к настоящему времени данные свидетельствуют о продолжающемся росте или стабильности распространенности БА среди детей в большинстве районов мира [1]. Общее снижение распространенности БА в детской популяции отсутствует, и только в отдельных странах наблюдаются такие тенденции. Повышение распространенности БА у детей выявлено во всех странах Европы [12, 44].

Во Франции распространенность БА среди детей раннего возраста, по данным национального обследования состояния здоровья детей детских садов, увеличилась с 1,13 % в 2005 г. до 11,0–11,8 % в 2012–2013 гг. [9, 29]. В Англии распространенность БА у детей 6–8 лет возросла с 18,1 % в 2006 г. до 32,4 % в 2010-м [36]. Среди детей в возрасте шести лет БА в Нидерландах страдают 24,3 % [42]. Высокой остается распространенность БА среди детей США, составлявшая в 2011–2012 гг. 15 % [46] и

затрагивавшая 7,1 млн американских детей [29, 34].

Среди монгольских детей распространенность БА выше, чем в мире и странах Азиатско-Тихоокеанского региона, и достигает 20 % [44]. Одной из самых пораженных БА стран является Китай, где число больных составляет около 30 млн человек, в том числе 10 млн детей [43]. В среднем по России распространенность БА среди детей 7–8 лет составляет 4,7 % и за последние годы произошла стабилизация, а в отдельных регионах – снижение частоты БА [17].

Распространенность БА среди детей ассоциируется с различными внешнесредовыми факторами риска, среди которых важным считается загрязнение атмосферного воздуха. Ряд исследований, проведенных в развитых странах, показал связь между загрязнением воздуха в жилых помещениях и БА у детей [3, 6, 44]. При обследовании 3 104 детей с БА в Индии установлено, что 32,4 % из них подвергались воздействию табачного дыма [22]. Загрязнение воздуха квартир табачным дымом привело к увеличению распростра-

нённости БА среди детского населения Монголии [44]. Табачный дым является фактором риска развития БА среди детей Индии от 6 до 14 лет, относительный риск (ОР) выше в группе 6–7 лет [38]. Бронхиальная астма ассоциируется обычно с курением матери (ОР = 2,72) и обоих родителей (ОР = 1,9). Загрязнение воздуха в квартирах влияет на тяжесть БА у детей и особенно в городских условиях [6]. Анализ результатов воздействия показывает важность оценки источников загрязнения воздуха в домашних условиях как факторов риска заболеваемости БА. При этом важными компонентами, определяющими заболеваемость БА у детей в городских условиях и в квартирах, являются твёрдые частицы, диоксид азота и аллергены [6, 15].

Твёрдые частицы считаются серьёзной проблемой качества воздуха в помещениях школ Гонконга [24]. Показана значительная связь между загрязнением воздуха в школах твёрдыми частицами, аэрозолями и распространённостью БА среди детей. Увеличение количества твёрдых частиц в воздухе школ и жилых помещениях свыше 10 мкг/м³ выступает фактором риска развития БА у детей [2].

Установлены сезонные факторы риска формирования БА у детей, когда повышение среднегодовых значений показателей экстренной обращаемости происходит с середины марта до конца мая и с середины августа до декабря. Выявлена связь между госпитализацией больных БА, температурой окружающей среды и другими метеорологическими факторами в Гонконге [23]. Повышение температуры воздуха от 30 до 32 °С приводило к увеличению заболеваемости БА. Среди детей в возрасте до 5 лет БА ассоциируется с более высоким уровнем влажности и озона в жаркое время года [23]. Среди других факторов риска развития БА у детей 6–7 лет называется просмотр телевизора в течение 5 и более часов в день [32], недостатки в рационе питания в период беременности, вдыхание загрязнителей атмосферного воздуха [10]. Указывается также на то, что избыточный вес повышает восприимчивость городских детей к загрязнителям воздуха [25].

Загрязнение воздуха представляет собой потенциально модифицируемый фактор риска развития БА у детей [7]. Несмотря на наличие исследований по изучению атмосферных загрязнителей и БА среди детей, в некоторой части публикаций не содержится конкретных сведений о влиянии тех или иных загрязнителей атмосферы [4, 7, 10, 23, 26]. В другой части работ приводится информация о распространённости симптомов БА у детей и атмосферных загрязнителей [19, 21, 26, 27, 28].

В нескольких исследованиях [19, 26, 27, 28, 31] изучалась связь между загрязнением воздуха и БА у детей, но не было представлено никаких убедительных последовательных результатов. Вместе с тем имеющаяся в настоящее время литература, по мнению Burbank A. J. et al. [7], подтверждает связь между загрязнителями воздуха, БА среди детского населения и её исходами.

Повышение заболеваемости БА у детей в Южной Корее вызвано не только генетическими факторами риска, но и воздействием твёрдых частиц размером 10 мкм, диоксидом азота (NO₂) и озона [8]. Межквартальное увеличение загрязнителей воздуха связано с возрастанием числа обращений за неотложной медицинской помощью. Среди загрязнителей наиболее тесная связь БА установлена с повышением концентрации озона в Сеуле [8]. Существует связь между воздействием на детей загрязнения воздуха в течение первого года жизни и заболеваемостью их БА в возрасте 8–12 лет [8]. Такой вывод сделан авторами на основе анализа воздействия твёрдых частиц размером менее 10 мкм и оксида азота в воздухе на детей в зависимости от нахождения жилых домов, детских садов, школ и интенсивности дорожного движения автомобилей, выбрасывающих эти загрязнители. При обследовании 3 863 детей в Нидерландах установлена достоверная связь повышенного риска заболеваемости БА детей в возрасте 8 лет с концентрацией твёрдых частиц менее 2,5 мкм, NO₂ и сажи в воздухе [13].

О наличии ограниченной (слабой) связи между влиянием загрязнения воздуха, связанного с движением автотранспорта, и развитием БА у детей в возрасте от 3 до 12 лет сообщается в статье Nasunuma H. et al. [17]. Более тесные связи установлены между числом обращений детей с БА за медицинской помощью и пиковыми значениями уровня оксида серы (SO₂) в результате выбросов нефтеперерабатывающих заводов [39]. Однако длительное воздействие SO₂ вызывает увеличение числа случаев БА среди детей (коэффициент корреляции равен 0,95; $p < 0,05$), тогда как текущая концентрация SO₂ не коррелирует с заболеваемостью детей БА [20]. Концентрация пыли также не коррелирует с возникновением БА. Воздействие NO₂ вызвало значительное повышение частоты БА ($r = 0,98$). Текущая концентрация монооксида углерода (CO) коррелирует с заболеваемостью детей БА ($r = 0,918$). Эти результаты свидетельствуют о значительном влиянии оксидов азота, оксида серы и оксида углерода на развитие БА у детей.

Согласно результатам корреляционного анализа между распространённостью БА среди детского населения Китая и рядом факторов, включая SO₂ и относительную влажность, существуют значительные ассоциации [43]. Однако корреляция между твёрдыми частицами менее 10 мкм, NO₂, температурой воздуха и распространённостью БА статистически не значима. Поэтому для прогнозирования распространённости БА использовался множественный линейный регрессионный анализ с зависимой переменной распространённости БА и независимыми переменными SO₂, относительной влажности. Модель прогнозирования статистически значима и составляла приблизительно 30,3 % дисперсии распространённости БА у детей. Регрессионный анализ показал, что среди переменных-предикторов SO₂ является наиболее мощной переменной-предиктором ($\beta = -19,572$, $p < 0,05$).

В другом проведенном в Китае исследовании обнаружено краткосрочное воздействие твёрдых частиц менее 10 и 2,5 мкм, двуокиси азота и оксида углерода на повышение посещений больницы Чунцинского медицинского университета детьми с БА [11]. Использование корреляционного анализа для установления связи между загрязнителями воздуха — диоксидом серы, диоксидом азота, озоном, монооксидом углерода и твёрдыми частицами с диаметром 10 и менее 10 мкм — и посещениями детьми больницы при обострении БА выявило положительную достоверную связь визитов в больницу с диоксидом азота ($r = 0,72$), монооксидом углерода ($r = 0,65$), твёрдыми частицами 10 мкм ($r = 0,63$) [41].

Многофакторное моделирование исходов БА среди детей в зависимости от концентрации загрязнителей в воздухе показало, что высокие уровни твёрдых частиц диаметром 2,5 мкм, оксида углерода и двуокиси азота связаны с более плохим исходом заболевания и управлением (контролем) им [16]. Концентрация твёрдых частиц 2,5 мкм определяет 59 % случаев неконтролируемой БА, а повышение NO_2 — 34 %. Это указывает на существенное воздействие загрязнителей воздуха на заболеваемость детей БА [16]. Кроме того, увеличение уровней твёрдых частиц 2,5 мкм в период беременности на сроке 16–25 недель достоверно связано с развитием БА в раннем детстве [18].

Даже кратковременное воздействие твёрдых частиц диаметром 10 мкм вблизи детских домов связано с повышенным риском экстренных посещений детских больниц, скорой помощи детьми с БА [30]. Отношение шансов при этом составило 1,02 [30]. Твёрдые частицы диаметром менее 10 мкм также ассоциируются с высоким уровнем заболеваемости детей БА в Японии, хотя связь эта была незначительной [38], вместе с тем в течение периода наблюдения показатели заболеваемости БА были в значительной степени связаны с атмосферными концентрациями диоксида азота. Эти данные свидетельствуют о том, что загрязнение воздуха, включая диоксид азота, может быть важным фактором риска развития БА среди детей в городских районах [38].

Показано, что снижение концентрации NO_2 в атмосферном воздухе в летние дни сопровождается улучшением лёгочной функции у детей с БА [40]. Однако воздействие более высоких уровней NO_2 и O_3 ассоциируется с повышенным риском развития БА и пневмонии у детей [43]. Наиболее сильной ассоциацией было увеличение на 9,6 % посещений отделений неотложной помощи больными БА при повышении концентрации O_3 в атмосферном воздухе [35]. Изменение концентрации NO_2 и твёрдых частиц также значительно связано с посещением отделений неотложной помощи, что подтверждается построенной кумулятивной моделью.

Развитие БА у детей в раннем (до 5 лет) возрасте связано с воздействием на первом году жизни дыма, сажи или выхлопных газов древесины или масла (ОШ = 1,74), гербицидов (ОШ = 4,58), пестицидов (ОШ

= 2,39) и сельскохозяйственной пыли (ОШ = 1,88) [45]. Для детей в раннем возрасте существенным фактором риска формирования БА является проживание в зоне интенсивного движения транспорта (в пределах 100 м), когда относительный риск составляет 2,43–5,43 [14].

Загрязнение атмосферного воздуха оказывает неодинаковое влияние на развитие БА среди детей различной расы [8, 33]. Белокожие дети с высоким уровнем воздействия атмосферных загрязнителей имеют в 3 раза более высокие шансы развития БА (ОР = 3,0) по сравнению с белыми детьми с низким уровнем воздействием загрязнителей [34]. У афроамериканских детей воздействие загрязнения не связано с повышением риска развития БА. Считается, что влияние загрязнения окружающего воздуха на развитие БА у чернокожих детей, вероятно, модулируется множеством психосоциальных стрессов и взаимодействий генов [33, 34].

Таким образом, большинство авторов рассмотренных выше работ указывают на существенное влияние атмосферного загрязнения на развитие, обострение БА у детей и их обращаемость за медицинской помощью в детские больницы. Представляется перспективным создание компьютерного мониторинга по выявлению неблагополучных территорий и доминирующих загрязнителей атмосферы воздуха и прогнозирование их воздействия на формирование и распространённость БА в детской популяции. Дальнейшее изучение атмосферных загрязнителей и заболеваемости детей БА, на наш взгляд, позволит оптимизировать профилактику рассматриваемой патологии. Выделение и реализация приоритетных превентивных мероприятий по снижению атмосферного загрязнения будут способствовать его элиминации и уменьшению частоты БА среди детей.

Авторство

Агарков Н. М. внес существенный вклад в разработку дизайна исследования, участвовал в анализе, интерпретации данных и подготовке статьи к публикации; Пошибайлова А. В. осуществила перевод иностранной литературы и участвовала в подготовке данной статьи; Иванов В. А. предложил идею статьи и осуществил редактирование окончательного варианта статьи.

Агарков Николай Михайлович — SPIN 8921-6603

Иванов Виктор Афанасьевич — SPIN 2093-2035

Список литературы / References

1. Anandan C., Nurmatov U., Van Schayck C. P. Is the prevalence of asthma declining? Systematic review of epidemiological studies. *Allergy*. 2010, 65 (2), pp. 152-167.
2. Annesi-Maesano I., Moreau D., Caillaud D. Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children. *Respir Med*. 2007, 101 (8), pp. 1721-1729.
3. Badyda A. J., Dąbrowiecki P., Czechowski P. O., Majewski G. Risk of bronchi obstruction among non-smokers - review of environmental factors affecting bronchoconstriction. *Respir Physiol Neurobiol*. 2015, 209, pp. 39-46.

4. Batterman S., Ganguly R., Isakov V. Dispersion Modeling of Traffic-Related Air Pollutant Exposures and Health Effects Among Children with Asthma in Detroit, Michigan. *Transp Res Rec.* 2014, 2452, pp. 105-112.
5. Berhane K., Chang C. C., McConnell R. Association of Changes in Air Quality With Bronchitic Symptoms in Children in California, 1993-2012. *JAMA.* 2016, 315 (14), pp. 1491-1501.
6. Breyse P. N., Diette G. B., Matsui E. C. Indoor air pollution and asthma in children. *Proc Am Thorac Soc.* 2010, 7 (2), pp. 102-106.
7. Burbank A. J., Peden D. B. Assessing the impact of air pollution on childhood asthma morbidity.-P. how, when, and what to do. *Curr Opin Allergy. Clin Immunol.* 2018, 18 (2), pp. 124-131.
8. Clark N. A., Demers P. A., Karr C. J. Effect of early life exposure to air pollution on development of childhood asthma. *Environ Health Perspect.* 2010, 118 (2), pp. 284-290.
9. Delmas M. C., Guignon N., Leynaert B. Increase in asthma prevalence among young children in France. *Rev Mal Respir.* 2017, 34 (5), pp. 525-534.
10. Dick S., Friend A., Dynes K. A systematic review of associations between environmental exposures and development of asthma in children aged up to 9 years. *BMJ Open.* 2014, 4 (11), pp. 126-132.
11. Ding L., Zhu D., Peng D., Zhao Y. Air pollution and asthma attacks in children: A case-crossover analysis in the city of Chongqing. *China Environ Pollut.* 2017, 220, pp. 348-353.
12. Edwards M. O., Kotecha S. J., Lowe J. Management of Prematurity-Associated Wheeze and Its Association with Atopy. *PLoS ONE.* 2016, 11 (5), pp. 155-159.
13. Gehring U., Wijga A. H., Brauer M. Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life. *Am J Respir Crit Care Med.* 2010, 181, pp. 596-603.
14. Gordian M. E., Haneuse S., Wakefield J. An investigation of the association between traffic exposure and the diagnosis of asthma in children. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2006, 16 (1), pp. 49-55.
15. Gruzjeva O., Bergström A., Hulchiy O. Exposure to air pollution from traffic and childhood asthma until 12 years of age. *Epidemiology.* 2013, 24, pp. 54-61.
16. Hansel N. N., Romero K. M., Pollard S. L. Ambient Air Pollution Adversely Impacts Various Domains of Asthma Morbidity among Peruvian. *Ann Am Thorac Soc.* 2018, 44, pp. 182-191.
17. Hasunuma H., Sato T., Iwata T. Association between traffic-related air pollution and asthma in preschool children in a national Japanese nested case-control study. *BMJ Open.* 2016, 6 (2), pp. 104-110.
18. Hsu H. H., Chiu Y. H., Coull B. A., Kloog I. Prenatal Particulate Air Pollution and Asthma Onset in Urban Children. Identifying Sensitive Windows and Sex Differences. *Am J Respir Crit Care Med.* 2015, 192, pp. 1052-1059.
19. Hwang B. F., Lee Y. L. Air pollution and prevalence of bronchitic symptoms among children in Taiwan. *Chest.* 2010, 138, pp. 956-964.
20. Kasperczyk J., Steplewski Z. Influence of gas and dust air pollutants on development of asthma in children. *Wiad Lek.* 2002, 55 (1), pp. 217-222.
21. Kasznia-Kocot J., Kowalska M., Górny R. L. Environmental risk factors for respiratory symptoms and childhood asthma. *A Ann Agric Environ Med.* 2010, 17 (2), pp. 221-229.
22. Kumar R., Nagar J. K., Goel N. Indoor air pollution and asthma in children at Delhi. *Pneumonol Alergol Pol.* 2015, 83 (4), pp. 275-282.
23. Lam H. C., Li A. M., Chan E. Y., Goggins W. B. The short-term association between asthma hospitalisations, ambient temperature, other meteorological factors and air pollutants in Hong Kong; a time-series study. *Thorax.* 2016, 71 (12), pp. 1097-1109.
24. Lee S. L., Lau Y. L., Wong H. S., Tian L. Prevalence of and Risk Factors for Childhood Asthma, Rhinitis, and Eczema in Hong Kong: Proposal for a Cross-Sectional Survey. *JMIR Res Protoc.* 2017, 6, p. 106.
25. Lee Y. L., Chen J. H., Wang C. M., Chen M. L., Hwang B. F. Association of Air Pollution Exposure and Interleukin-13 Haplotype with the Risk of Aggregate Bronchitic Symptoms in Children. *EBioMedicine.* 2018, 29, pp. 70-77.
26. Lee Y. L., Lee C. K. Transcriptional response according to strength of calorie restriction in *Saccharomyces cerevisiae*. *Molecules & Cells (Springer Science & Business Media BV).* 2008, 26 (3), pp. 17-22.
27. Boyko N. N., Makarevich N. A., Pisarev D. I., Zhilyakova E. T. Simplified mathematical modeling of the distribution process of licuroside and glycyram between the extractant and *Glycyrrhizae radices*. *Research result. Medicine and Pharmacy.* 2018, 4 (2), pp. 75-80.
28. Lewis T. C., Robins T. G., Mentz G. B., Zhang X., Mukherjee B. Air pollution and respiratory symptoms among children with asthma: vulnerability by corticosteroid use and residence area. *Sci Total Environ.* 2013, 15, pp. 48-55.
29. Luo G., Nkoy F. L., Stone B. L. A systematic review of predictive models for asthma development in children. *BMC Med Inform Decis Mak.* 2015, 15, pp. 99-106.
30. Mazenq J., Dubus J. C., Gaudart J. Air pollution and children's asthma-related emergency hospital visits in southeastern France. *Eur J Pediatr.* 2017, 176, pp. 705-711.
31. McConnell R., Berhane K., Gilliland F. Prospective study of air pollution and bronchitic symptoms in children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003, 168, pp. 790-797.
32. Mitchell E. A., Stewart A. W., Clayton T. Cross-sectional survey of risk factors for asthma in 6-7-year-old children in New Zealand: International Study of Asthma and Allergy in Childhood Phase Three. *J Paediatr Child Health.* 2009, 45, pp. 375-383.
33. Nardone A., Neophytou A. M., Balmes J. Ambient Air Pollution and Asthma-Related Outcomes in Children of Color of the USA: a Scoping Review of Literature Published Between 2013 and 2017. *Curr Allergy Asthma Rep.* 2018, 18 (5), p. 29.
34. Newman N. C., Ryan P. H., Huang B. et al. Traffic-related air pollution and asthma hospital readmission in children: a longitudinal cohort study. *J Pediatr.* 2014, 164 (6), pp. 1396-1402.
35. Noh J., Sohn J., Cho J. Short-term Effects of Ambient Air Pollution on Emergency Department Visits for Asthma: An Assessment of Effect Modification by Prior Allergic Disease History. *J Prev Med Public Health.* 2016, 49 (5), pp. 329-341.
36. Pescatore A. M., Dogaru C. M., Duembgen L. A simple asthma prediction tool for preschool children with wheeze or cough. *J Allergy Clin Immunol.* 2014, 133 (1), pp. 111-118.
37. Salam M. T., Li Y. F., Langholz B., Gilliland F. D. Early-life environmental risk factors for asthma: findings from the Children's Health Study. *Environ Health Perspect.* 2004, 112 (6), pp. 760-765.
38. Shima M., Nitta Y., Ando M., Adachi M. Effects of air pollution on the prevalence and incidence of asthma in children. *Arch Environ Health.* 2002, 57 (6), pp. 529-535.

39. Smargiassi A., Kosatsky T. Hicks Risk of asthmatic episodes in children exposed to sulfur dioxide stack emissions from a refinery point source in Montreal, Canada. *J Environ Health Perspect.* 2009, 117 (4), pp. 653-659.

40. Snowden J. M., Mortimer K. M., Kang M. S. Population intervention models to estimate ambient NO₂ health effects in children with asthma. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2015, 25 (6), pp. 567-573.

41. Sun H. L., Chou M. C., Lue K. H. The relationship of air pollution to ED visits for asthma differ between children and adults. *Am J Emerg Med.* 2006, 24 (6), pp. 709-713.

42. Van der Mark L. B., van Wonderen K. E., Mohrs J. Predicting asthma in preschool children at high risk presenting in primary care: development of a clinical asthma prediction score. *Care Respir J.* 2014, 23 (1), pp. 52-59.

43. Vieira S. E., Stein R. T., Ferraro A. A. Urban air pollutants are significant risk factors for asthma and pneumonia in children: the influence of location on the measurement of pollutants. *Arch Bronconeumol.* 2012, 48 (11), pp. 389-395.

44. Yoshihara S., Munkhbayarlakh S., Makino S. Prevalence of childhood asthma in Ulaanbaatar, Mongolia in 2009. *Allergol Int.* 2016, 65 (1), pp. 62-67.

45. Zhang J., Dai J., Yan L. Air Pollutants, Climate, and the Prevalence of Pediatric Asthma in Urban Areas of China. *Biomed Res Int.* 2016, 29, pp. 351-163.

46. Zhang J., Ma C., Yang A. Is preterm birth associated with asthma among children from birth to 17 years old? A study based on 2011-2012 US National Survey of Children's Health. *Ital J Pediatr.* 2018, 44 (1), pp. 151-157.

Контактная информация:

Агарков Николай Михайлович — доктор медицинских наук, профессор ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94

E-mail: vitalaxen@mail.ru

ТЕМПЕРАТУРА И ОЗОН В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ КАК ФАКТОРЫ РИСКА НЕОТЛОЖНЫХ СОСТОЯНИЙ СИСТЕМЫ ГЕМОДИНАМИКИ У НАСЕЛЕНИЯ ЮЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

© 2020 г. **Е. В. Евстафьева**, ***В. А. Лапченко**, ****А. С. Макарова**,
Н. К. Абибуллаева, **И. А. Евстафьева**

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», г. Симферополь; *Кардагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Феодосия; **ФГАОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева», г. Москва

Волны жары и возрастание концентрации тропосферного озона в условиях глобального потепления признаются приоритетными факторами в отношении негативного влияния на здоровье населения. *Целью* исследования явилось определение значимости температуры атмосферного воздуха и концентрации озона в приземном слое атмосферы как факторов риска для возникновения неотложных состояний сердечно-сосудистой системы населения юга России. *Методы.* Выполнено обсервационное аналитическое исследование медико-экологического характера, в результате которого проанализировано среднемесячное за 2017 год и посуточное за январь, апрель, июль и октябрь число вызовов по поводу острых нарушений мозгового кровообращения, гипертонических кризов, острого инфаркта миокарда. Среднесуточные значения температуры воздуха фиксировали по метеосводкам в интернет-ресурсе (<https://rp5.ru>). Концентрацию озона в приземном слое определяли оптическим методом с помощью автоматического газоанализатора на станции фонового экологического мониторинга в Государственном природном заповеднике «Кардагский». Сопряженный анализ медицинских и метеорологических данных осуществляли посредством непараметрического корреляционного анализа по Спирмену. *Результаты.* На протяжении 2017 года среднесуточная концентрация озона в приземном слое атмосферы превышала норму в 1,5–2,5 раза. Наибольшее число значимых корреляций всех регистрируемых неотложных состояний сердечно-сосудистой системы с температурой воздуха и концентрацией озона выявлено в июле ($0,38 < r_s < 0,79$; $p < 0,05$). В другие сезоны года такая зависимость была слабее ($0,43 < r_s < 0,47$; $p < 0,05$) и обнаруживалась для гипертонических кризов и инфаркта миокарда от среднесуточной температуры в январе, для инфаркта миокарда – от амплитуды суточных колебаний концентрации приземного озона в октябре. *Выводы.* Максимум числа неотложных состояний, приходящийся на летние месяцы, может быть обусловлен синергическим эффектом влияния высоких уровней озона и температуры воздуха.

Ключевые слова: температура, озон, атмосфера, гемодинамика, южные территории

AIR TEMPERATURE AND OZONE CONCENTRATION AS RISK FACTORS FOR LIFE-THREATENING CARDIOVASCULAR CONDITIONS IN SOUTHERN RUSSIA

E. V. Evstafeva, ***V. A. Lapchenko**, ****A. S. Macarova**, **N. K. Abibullaeva**, **I. A. Evstafeva**

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol; *T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station - Nature Reserve of RAS - Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosiya;

**Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

Heat waves and increasing tropospheric ozone concentration accompanying global warming are recognized as risk factors for public health. *The aim* of the study was to assess the associations between atmospheric air temperature, ozone concentration as risk factors for life-threatening cardiovascular conditions in Southern Russia. *Methods.* An ecological study was performed. The number of ambulance calls (the monthly average for 2017 and daily for January, April, July and October) for acute cerebrovascular conditions, hypertensive crises, and acute myocardial infarction were analyzed. Data on mean daily air temperature was obtained from the weather reports (<https://rp5.ru>). The ozone concentration was determined by the optical method using an automatic gas analyzer at the environmental monitoring station in the Karadag State Nature Reserve. Spearman nonparametric correlation analysis was applied to study associations between the outcomes and the selected environmental conditions. *Results.* During 2017, the average daily concentration of ozone in the surface layer of the atmosphere exceeded the norm by 50-150 %. The largest number of significant correlations between all recorded cardiovascular life-threatening conditions and air temperature and ozone concentration was detected in July ($0,38 < r_s < 0,79$; all p-values $< 0,05$). In other seasons of the year, this correlation was somewhat weaker ($0,43 < r_s < 0,47$; all p-values $< 0,05$). Associations between hypertensive crises and myocardial infarction and average daily temperature were found in January. An association between myocardial infarction and the surface ozone concentration was observed in October. *Conclusion.* The maximum number of emergency conditions occurring in the summer months may be associated with the synergistic effects of high levels of ozone and air temperature.

Key words: temperature, ozone, atmosphere, hemodynamics, southern territories

Библиографическая ссылка:

Евстафьева Е. В., Лапченко В. А., Макарова А. С., Абибуллаева Н. К., Евстафьева И. А. Температура и озон в приземном слое атмосферы как факторы риска неотложных состояний системы гемодинамики у населения южных территорий России // Экология человека. 2020. № 5. С. 50–56.

For citing:

Evstafeva E. V., Lapchenko V. A., Macarova A. S., Abibullaeva N. K., Evstafeva I. A. Air Temperature and Ozone Concentration as Risk Factors for Life-Threatening Cardiovascular Conditions in Southern Russia. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 50-56.

Изменения климата, стремительно развивающиеся в последние годы, приводят не только к погодным катаклизмам и воздействию на состояние экосистем, но и оказывают возрастающее негативное влияние на здоровье человека. Оно может быть прямым и опосредованным через модификацию действия антропогенных факторов и суммацию эффектов [4, 7, 17, 22]. В связи с глобальным потеплением в качестве приоритетного фактора рассматривают температуру атмосферного воздуха, особенно ее воздействие в виде так называемых «волн жары» [8], которое приводит в том числе к возникновению острых состояний [20], требующих срочной медицинской помощи и являющихся одной из причин высокой смертности.

В значительной степени зависимой от температуры является другая важная характеристика атмосферного воздуха — концентрация озона в приземном слое атмосферы (КПО), которая увеличивается при высоких температурах и антропогенном загрязнении воздуха [6]. Именно его количественные изменения вызывают многочисленные негативные эффекты в состоянии природной среды и здоровья населения [1]. Согласно большинству наблюдений и всем прогнозам на большинстве населенных территорий в настоящее время происходит рост уровня озона, что должно привести к учащению эпизодов с опасными для здоровья концентрациями, в частности, известно его влияние на дыхательную и другие системы организма, обусловленное сильными окислительными свойствами [15]. По этой причине Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и Европейское агентство по окружающей среде [21] включили озон в список пяти приоритетных загрязнителей атмосферы.

В отечественных исследованиях на этот счет имеются немногочисленные данные, в то время как за рубежом этой проблеме уделяется достаточное внимание [10, 11]. Южные регионы Российской Федерации, в частности Крымский полуостров, с этой точки зрения являются территориями повышенного климатического риска. Наряду с высокими температурами высокие значения концентрации приземного озона (КПО) регистрировались в курортном районе Юго-Восточного Крыма уже в начале 90-х годов прошлого века [5], а наличие в Республике Крым на станции фонового экологического мониторинга (СФЭМ) Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского — природный заповедник РАН — филиал ФГБУН Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (КНС — ПЗ РАН филиал ФИЦ ИнБЮМ), где возможна перманентная регистрация озона, создает хорошие условия для детального изучения данной проблемы в южном регионе России и может существенно дополнить ведущиеся здесь в течение многих лет медико-экологические исследования [3].

В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования явилось определение значимости двух важнейших метеофакторов — температуры атмосферного воздуха и КПО — как факторов риска для

некоторых острых состояний сердечно-сосудистой системы населения на территории Крымского полуострова на примере г. Симферополя. Были поставлены следующие задачи: проанализировать изменения температуры атмосферного воздуха и КПО в течение года на СФЭМ; сопоставить среднесуточную динамику вызовов скорой помощи с температурными характеристиками воздуха и концентрацией озона в течение одного месяца каждого сезона года; посредством непараметрического корреляционного анализа количественно оценить их взаимосвязь.

Методы

Проанализированы временные ряды среднемесячных температуры воздуха, КПО и вызовов скорой помощи (ВСП) по причине неотложных состояний сердечно-сосудистой системы (ССС) в г. Симферополе в течение 2017 года, а также среднесуточные, максимальные величины метеофакторов, амплитуда их изменений и количество ВСП в сутки в течение января, апреля, июля и октября 2017 года.

Среднесуточные ($T_{\text{mean}}, \text{C}^\circ$) и максимальные температуры воздуха ($T_{\text{max}}, \text{C}^\circ$), фиксировались по метеосводкам интернет-ресурса (<https://gr5.ru>). Измерения КПО проводились на СФЭМ КНС — ПЗ РАН филиал ФИЦ ИнБЮМ оптическим методом (поглощение в УФ-области) с помощью автоматического газоанализатора АРОА 370 (HORIBA, Япония). Отбор проб осуществлялся с использованием тефлоновых трубок на высоте 2 метра от поверхности земли. Данные непрерывной регистрации озона усреднялись за минутный, получасовой и часовой интервалы наблюдений с сохранением информации в регистраторе — I/O — EXPANDER (HORIBA). С помощью программы IOVIS 2,2 из регистратора извлекались среднечасовые данные КПО, на основании которых анализировали среднесуточную (O_{3mean}), максимальную (O_{3max}) концентрацию озона и амплитуду ее изменений ($O_{\text{3a-la}}$) за весь период наблюдений в течение года и в исследуемые месяцы.

К числу регистрируемых по ВСП патологий были отнесены: острый инфаркт миокарда (ОИМ), гипертонический криз (ГБ), острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК), которые вносят наибольший вклад в смертность населения, в том числе в Республике Крым. Использовали статистические данные Симферопольской станции скорой медицинской помощи (ССМП) за 2017 год. За январь/апрель/июль/октябрь проанализированы 8 931 выездная карта ССМП.

Взаимосвязь между изменениями концентрации озона и частотой неотложных состояний в течение января, апреля, июля и октября после предварительного анализа характера распределения по критериям Колмогорова — Смирнова, Лиллифорс оценивали посредством непараметрического корреляционного анализа по Спирмену. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием стандартного пакета программ Statistica 8.0 Как статистически значимые рассматривались коэффициенты корреляций (r_s) при $p < 0,05$.

Результаты

Анализ среднемесячных данных скорой помощи показал, что наибольшее количество вызовов пришлось на летний период (30,83 %) с максимумом в августе (рис. 1), когда среднесуточная температура была максимальной (рис. 2). КПО в атмосфере в августе составила 79 мкг/м³, в то время как в июле была несколько выше и равнялась 82 мкг/м³, минимальные среднесуточные величины отмечены в декабре (см. рис. 2). Таким образом, в течение всего 2017 года среднесуточная КПО в воздухе существенно превышала ПДК, принятую для этого показателя равной 30 мкг/м³ [2].

Исходя из этих данных, для более детального анализа были сопоставлены данные ежедневных ВСП, КПО и температурных показателей атмосферного воздуха за четыре месяца года: январь, апрель, июль и октябрь – месяцы, представляющие разные сезоны. Динамика среднесуточных изменений температуры атмосферного воздуха и КПО за эти месяцы представлены на рис. 3 и 4. Их вариабельность создает хорошую возможность для установления корреляционных связей и выявления зависимостей в случае их существования, а суточная динамика КПО с увеличением в дневное и уменьшением в ночное время суток позволяет говорить о том, что регистрируемые

изменения отражают в основном изменения фонового содержания озона в регионе [1]. Это делает в определенной степени правомерным прямое сопоставление КПО на территории станции, располагающейся на расстоянии 120 км от Симферополя, со статистическими данными ВСП в городе, где наибольшая плотность населения в Крымском регионе и данные медицинской статистики представляются наиболее информативными.

Их анализ показал, что наиболее «реактивной» категорией населения являлись пациенты старше 60 лет. Это согласуется с наблюдениями, установленными в других регионах мира, так как данная возрастная категория имеет сниженные адаптационные резервы и, как правило, хронические заболевания сердечно-сосудистой системы и обнаруживает наибольшую чувствительность к изменениям климатопогодных факторов [12]. При этом мужское население Симферополя на 16,9 % больше было подвержено ОИМ и на 27,7 % – ОНМК, чем женское.

Корреляционный анализ, выполненный с целью установления зависимости острых состояний ССС от температуры воздуха («волн жары», в частности) и КПО, позволил обнаружить, что наибольшее число и наиболее высокая плотность корреляционных связей всех видов изученных нозологий с температурными

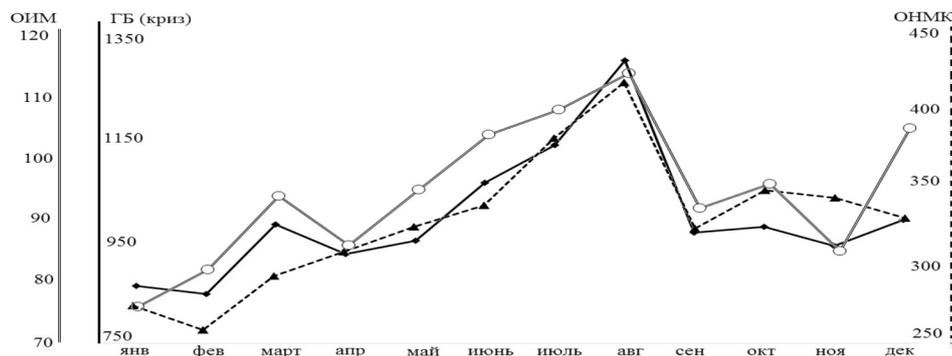


Рис. 1. Среднемесячное количество вызовов скорой помощи в течение 2017 года по поводу острого инфаркта миокарда (ОИМ), острой недостаточности мозгового кровообращения (ОНМК), гипертонических кризов (ГБ криз)

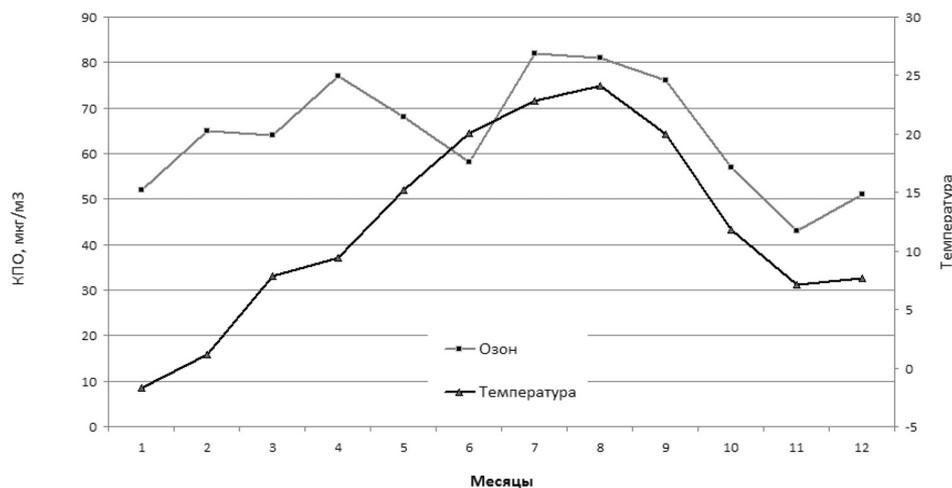


Рис. 2. Среднемесячные изменения температуры атмосферного воздуха ($T_{\text{мес}}^{\text{C}^0}$) и концентрации приземного озона (КПО, мкг/м³) в течение 2017 года

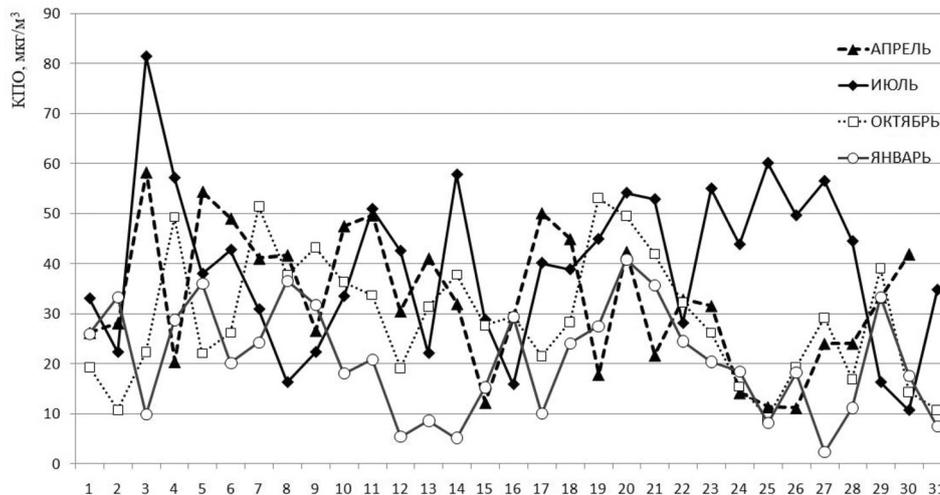


Рис. 3. Изменения концентрации приземного озона в январе, апреле, июле и октябре 2017 года

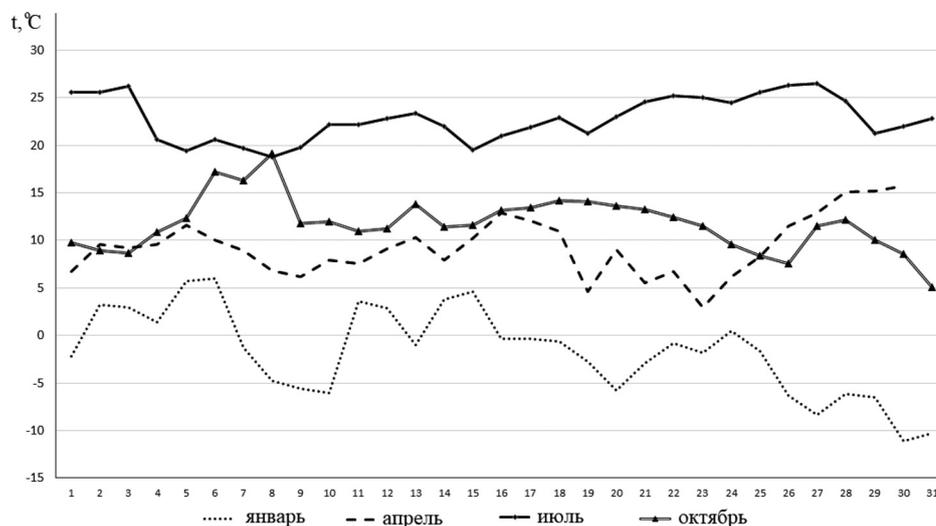


Рис. 4. Изменения среднесуточной температуры в январе, апреле, июле и октябре 2017 года

характеристиками атмосферного воздуха, причем как с T_{mean} , так и с T_{max} для ОНМК, выявлена в июле; менее плотная, но статистически значимая зависимость от T_{mean} имела место в январе, в то время как в апреле и октябре не было установлено ни одной значимой связи между анализируемыми рядами данных (рис. 5).

Значимые корреляции всех видов нозологий с теми или иными характеристиками уровня озона в приземном слое атмосферы (O_{3mean} , O_{3max} и $O_{3-да}$) также большей частью имели место в июле, в октябре наблюдалась одна корреляционная связь для ОИМ с $O_{3-да}$, что позволяет констатировать наличие реакции ССС не только и не столько на величину КПО, сколько на амплитуду изменений данного фактора.

При этом между температурой и КПО выявлена статистически значимая взаимосвязь ($r_s = 0,69$, $p = 0,05$).

Обсуждение результатов

Результаты настоящего исследования позволяют констатировать, что наибольшее число и плотность корреляционных связей всех видов изученных нозологий с температурой и КПО атмосферного воздуха

выявлены в летний период, когда значения данных метеофакторов достигали наиболее высоких величин, при этом КПО значительно превышала принятую норму. Это дает основание рассматривать жару и КПО на южных территориях как факторы риска для возникновения таких неотложных состояний ССС населения, как ОИМ, ОНМК и ГБ.

Влияние жары на организм человека реализуется не только через сугубо физиологические механизмы в виде дегидратации, нарушений минерального обмена и, следовательно, изменение свойств возбудимых тканей и реологических свойств крови. Эти изменения могут оказывать как прямое влияние на электрическую активность мозга, так и не прямое через мозговую ишемию [18]. Но в значительной степени влияние жары реализуется также через неспецифический механизм реагирования на тепловой стресс, включая его психоэмоциональную составляющую [9]. В этом случае именно ССС является основной исполнительской системой, обеспечивающей адаптационные перестройки в организме, и от состояния механизмов регуляции этой системы зависит общая состоятельность приспособительных реакций. Имен-

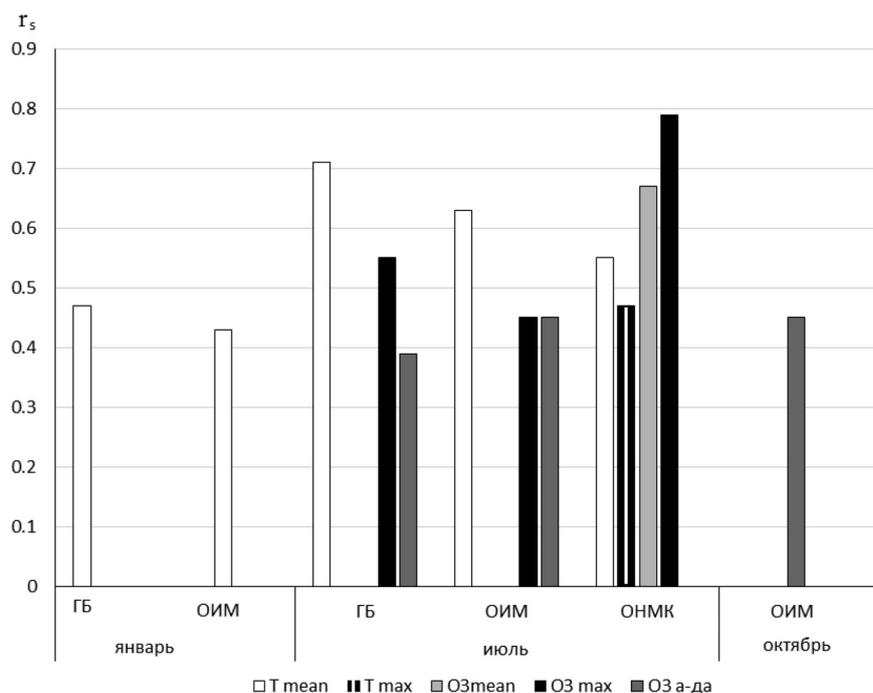


Рис. 5. Коэффициенты корреляций ($p < 0,05$) между количеством неотложных состояний и характеристиками метеофакторов

Примечание. T_{mean} – среднесуточная температура воздуха; T_{max} – максимальная температура в сутки; O_{3mean} – среднесуточная концентрация озона в воздухе; O_{3max} – максимальная концентрация озона в сутки; O_{3a-da} – амплитуда изменений концентрации озона в воздухе за сутки.

но увеличение симпатического тонуса в сочетании с низкой эмоциональной стабильностью во время «волн жары» может рассматриваться как фактор риска для заболеваний ССС [14].

Механизм негативного воздействия озона на ССС описан в литературе и основывается на данных как экспериментальных, так и эпидемиологических исследований [13, 19]. Так, вдыхание озона животными приводило к нарушению электрофизиологических показателей сердечной деятельности [16]. Главным образом действие озона реализуется через запуск окислительного стресса [10], отсюда разнообразие негативных эффектов в отношении как ССС, так и других систем организма. При этом вовлечение активных форм кислорода в метаболические реакции в условиях недостаточности эндогенной антиоксидантной системы в организме может оказывать прямое повреждающее действие на кардиомиоциты, активировать прокоагулянтную систему крови, изменять ее реологические свойства, что приводит к нарушению кровотока и развитию как коронарных синдромов, так и инфарктов и инсультов по ишемическому типу [5].

Таким образом, наличие общих звеньев в физиологическом механизме действия данных метеофакторов дает основание полагать, что может иметь место по крайней мере их аддитивное, а возможно, и синергическое действие. Однако зависимость концентрации озона от температуры атмосферного воздуха, о чем свидетельствуют наши и литературные данные, приведенные в начале статьи, и вероятность в этом случае кофакторного эффекта, не дают возможности статистической оценки их сочетанного действия и

вклада в наблюдаемый эффект каждого из них посредством множественного регрессионного анализа.

Помимо общего характера приведенных выше механизмов следует отметить, что их реализация в разных условиях и на разных территориях может иметь определенные специфические черты. Так, при проведении подобного исследования в городах Вятские Поляны и Москва существенных корреляционных связей ВСК с уровнем озона в летние месяцы не обнаружено [5]. Очевидно, что важную роль в обусловливании эффекта может играть не только природа фактора, но и его количественная характеристика. Так, надежно установленные факты обусловленности 21 000 преждевременных смертей в год действием озона на территории Европы наблюдались при его концентрации выше 70 мкг/м^3 [10], что даже создало возможность определения по количеству вызовов скорой медицинской помощи концентрации озона в воздухе [11].

Кроме уровня озона в атмосферном воздухе такое же важное значение для конечного эффекта влияния, по-видимому, имеет и количественная характеристика температуры воздуха. В пользу этого свидетельствуют и наши данные об отсутствии или меньшей выраженности эффектов в другие по сравнению с летним периодом сезоны года.

Заключение

Результаты настоящего исследования позволяют констатировать, что высокая температура в сочетании с превышающей нормативные значения концентрацией озона в атмосферном воздухе в летний сезон 2017 года на южных территориях России могли явиться значимы-

ми факторами риска для таких неотложных состояний ССС населения, как ОИМ, ОНМК и ГБ. Это обстоятельство важно учитывать при оздоровительном отдыхе некоторых категорий населения в летнее время. При этом температурное воздействие, если принимать во внимание плотность корреляционных связей, по силе влияния на ССС более существенно, чем воздействие КПО. Перспективно, по всей видимости, установление возможной роли и других метеофакторов при их различных сочетаниях, способных модифицировать конечный эффект влияния на здоровье населения. Их действие может различаться в разных регионах, и вполне возможен еще более выраженный негативный эффект «волн жары» в «прохладных» регионах, к которым местное население не адаптировано. Это предъявляет высокие требования к приспособительным возможностям организма и может способствовать более выраженному развитию дизадаптационных процессов. Перспективным на этот счет представляется проведение сравнительных исследований в контрастных регионах Российской Федерации, например Крымском и Арктическом, что позволит отдифференцировать общие и специфические закономерности влияния на здоровье актуальной климатической ситуации.

В связи с вышеизложенным несомненной является необходимость дальнейших исследований, учитывающих климато-погодные особенности регионов, с целью количественной оценки выраженности негативного эффекта климатических факторов в отношении здоровья населения в зависимости от их сочетания и интенсивности. На этой основе будет возможно прогнозирование и разработка конкретных рекомендаций и мер по профилактике и «смягчению» негативного влияния на здоровье человека.

Благодарности

Настоящая работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН в рамках проекта «Разработка рекомендаций по адаптации населения различных возрастных групп к воздействию температурных волн жары», 2018–2020 гг.

Авторы выражают благодарность инженерам Станции фонового экологического мониторинга ФГБУН «КНС – ПЗ РАН» Д. Н. Давидовичу, Л. А. Столярову, В. Г. Медведеву и А. Н. Родионову за обеспечение устойчивой работы приборов; ассистенту кафедры физиологии нормальной В. В. Белалову за подготовку иллюстративного материала к статье.

Авторство

Евстафьева Е. В. — автор концепции и дизайна исследований, принимала участие в анализе, описании и обсуждении полученных результатов, написании и редакции окончательного варианта статьи; Лапченко В. А. выполнил исследования, связанные с регистрацией, обработкой и анализом данных по содержанию озона в воздухе, сделал обзор литературы по проблеме, редактировал текст статьи, принял участие в написании статьи в рамках темы Гос. задания № АААА-А19-119012490044-3; Абибуллаева Н. К. осуществила сбор и первичную обработку данных скорой помощи, классификацию и систематизацию данных по патологиям, первичную статистическую обработку данных, анализ и описание данных по заболеваемости; Евстафьева И. А. участвовала в статистической обработке данных,

обобщении, первичной интерпретации полученных результатов, их графическом представлении, подготовке первого варианта статьи; Макарова А. С. принимала участие в интерпретации и описании данных по озону и температуре атмосферного воздуха, редакции текста статьи.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Евстафьева Елена Владимировна — ORCID 0000-0002-8331-4149; SPIN 2768-1760

Лапченко Владимир Александрович — ORCID 0000-0002-6441-710X; SPIN 7551-1174

Макарова Анна Сергеевна — ORCID 0000-0001-8097-4515; SPIN 2089-5221

Абибуллаева Нияра Кемаловна — ORCID 0000-0002-3435-7134; SPIN 7171-0909

Евстафьева Ирина Андреевна — ORCID 0000-0002-8658-8241; SPIN 4726-9015

Список литературы

1. Белан Б. Д. Озон в тропосфере / под ред. В. А. Погодаева. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2010. 487 с.

2. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. М.: МОРКНИГА, 2018. 40 с.

3. Евстафьева Е. В. Оценка экологического риска для здоровья на территории Республики Крым // Проблемы анализа риска, 2014. Т. 11, № 5. С. 30–38.

4. Карпин В. А., Гудков А. Б., Шувалова О. И. Анализ воздействия климатотехногенного прессинга на жителей северной урбанизированной территории // Экология человека. 2018. № 10. С. 9–14.

5. Котельников С. Н., Степанов Е. В. Влияние приземного озона на здоровье населения // Труды Института общей физики им. А. М. Прохорова, 2015. Т. 71. С. 72–94.

6. Куркудилова А. В., Макарова А. С., Тарасова Н. П., Лапченко В. А., Евстафьева Е. В. Процессы образования тропосферного озона в условиях Крымского полуострова // Безопасность в техносфере. 2018. № 1. С. 13–19. Doi: 10.12737/article_5b5ef57d5a4147.22312796

7. 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.

8. Ревич Б. А., Шапошников Д. А., Першаген Г. Новая эпидемиологическая модель по оценке воздействия аномальной жары и загрязненного атмосферного воздуха на смертность населения (на примере Москвы 2010 г.) // Профилактическая медицина. 2015. № 5. С. 5–19. Doi: 10.17116/profmed2015184

9. A Human Health Perspective on Climate Change. The Interagency Working Group on Climate Change and Health, 2010. P. 80.

10. Amann M., Derwent D., Forsberg B., Hänninen O., Hurley F., Krzyzanowski M., de Leeuw F., Liu S. J., Mandin C., Schneider J., Schwarze P., Simpson D. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. WHO, 2008. Regional Office for Europe. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78647/E91843.pdf.

11. Bates D. V. Ambient Ozone and Mortality // Epidemiology, 2005. N 16 (4). P. 427–429.

12. De Blois J., Kjellstrom T., Agewall S., Ezekowitz J. A., Armstrong P. W., Atar D. The Effects of Climate Change on Cardiac Health // Cardiology. 2015. Vol. 131. P. 209–217.

13. Chuang G. C., Yang Z. Pulmonary ozone exposure induces vascular dysfunction, mitochondrial damage, and atherogenesis // Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol. 2009. Vol. 297 (2). P. 209–216.

14. Evstafeva E. V., Tymchenko S. L., Zalata O. A., Bogdanova A. M. Effects of meteorological factors on higher mental functions and autonomic nervous system in southern population // *The New Armenian Medical Journal*. 2019. Vol. 13, N 2. P. 34–42.

15. Harucha M. J., Legohn A. S. Nonlinearity in human health response to ozone: Experimental laboratory consideration // *Atmos. Environ.* 2007. Vol. 41, N 22. P. 4559–4570.

16. Hazari M. S., Winsett D. W., Kulukulalani A., Carll A. P., Najwakal-Coates N., Lamb C. M., Lappi E., Terrell D., Cascio W. E., Costa D. L. Overt and latent cardiac effects of ozone inhalation in rats: evidence for autonomic modulation and increased myocardial vulnerability // *Environmental Health Perspectives*. 2012. N 120 (3). P. 348–354.

17. Kinney P. L. Interactions of Climate Change, Air Pollution, and Human Health // *Curr. Environ. Health Rep.* 2018. N 5 (1). P. 179–186. Doi: 10.1007/s40572-018-0188-x

18. Kochs E. Electrophysiological monitoring and mild hypothermia // *J Neurosurg. Anesthesiol.* 1995. Vol. 7. P. 222–228. Doi: 10.1097/00008506-199507000-00022.20

19. Ren C., Williams G., Morawska L., Mengersen K., Tong S. Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality - the analysis using the NMMAPS Data // *Epidemiology*. 2007. N 18 (5). P. 69–70.

20. Sherbakov T., Malig B., Guirguis K., Gershunov A., Basu R. Ambient temperature and added heat wave effects on hospitalizations in California from 1999 to 2009 // *Environ Res.* 2018. Vol. 160. P. 83–90. Doi: 10.1016/j.envres.2017.08.052. Epub 2017 Sep 30

21. The European environment. State and outlook 2010. Synthesis. Copenhagen: European Environment Agency, 2010. 228 p

22. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grijbovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry // *Epidemiologia and prevenzione*. 2010. Vol. 34, iss. 5-6. P. 138.

References

1. Belan B. D. *Ozon v troposphere* [Ozon in troposphere]. Ed. V. A. Pogodaev. Tomsk, 2010, 487 p.

2. *Gigienicheskii normativ GN 2.1.6.3492-17. Predel'no dopustimye kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukhse naselennykh mest* [Limited acceptable concentrations of pollutants in air of atmosphere on urbanized and rural territories]. Moscow, 2018, 40 p.

3. Evstafeva E. V. Ecological risk assessment for health on territory of the Crimea Republic. *Problemy analiza riska* [Issues of Risk Analysis]. 2014, 11 (5), pp. 30-38. [In Russian]

4. Karpin V. A., Gudkov A. B., Shuvalova O. I. Analysis of impact of climate-technogenic pressing on residents of northern urbanized territory. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 10, pp. 9-14. [In Russian].

5. Kotel'nikov S. N., Stepanov E. V. Vliyaniye prizemnogo ozona na zdorov'e naseleniya [Influence of presurface ozone on human health]. In: *Trudy Instituta obshchei fiziki im. A. M. Prokhorova* [Proceedings of the Prokhorov General Physics Institute of RAS]. 2015, 71, pp. 72-94.

6. Kurkudilova A. V., Makarova A. S., Tarasova N. P., Lapchenko V. A., Evstafeva E. V. The processes of tropospheric ozone formation in the Crimea. *Bezopasnost v technosfere* [Safety in the Technosphere]. 2018, 1, pp. 13-19. Doi: 10.12737/article_5b5ef57d5a4147.22312796. [In Russian]

7. Mironovskaya A. V., Buzinov R. V., Gudkov A. B. Prognostic evaluation of urgent cardiovascular disease in the population of a northern urbanized area. *Zdravookhraneniye Rossiiskoi Federatsii* [Public Health of the Russian Federation]. 2011, 5, pp. 66-67. [In Russian]

8. Revich B. A., Shaposhnikov D. A., Pershagen G. New epidemiological model to assess of anomal. *Profylakticheskaya meditsina* [Preventive Medicine]. 2015, 5, pp. 5-19. Doi: 10.17116/profmed2015184. [In Russian]

9. A Human Health Perspective on Climate Change. *The Interagency Working Group on Climate Change and Health*, 2010, 80 p.

10. Amann M., Derwent D., Forsberg B., Hänninen O., Hurley F., Krzyzanowski M., de Leeuw F., Liu S. J., Mandin C., Schneider J., Schwarze P., Simpson D. *Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution*. WHO, 2008, Regional Office for Europe. Available at: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78647/E91843.pdf

11. Bates D. V. Ambient Ozone and Mortality. *Epidemiology*. 2005, 16 (4), pp. 427-429.

12. De Blois J., Kjellstrom T., Agewall S., Ezekowitz J. A., Armstrong P. W., Atar D. The Effects of Climate Change on Cardiac Health. *Cardiology*. 2015, 131, pp. 209-217.

13. Chuang G. C., Yang Z. Pulmonary ozone exposure induces vascular dysfunction, mitochondrial damage, and atherogenesis. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.* 2009, 297 (2), pp. L209-L216.

14. Evstafeva E. V., Tymchenko S. L., Zalata O. A., Bogdanova A. M. Effects of meteorological factors on higher mental functions and autonomic nervous system in southern population. *The New Armenian Medical Journal*. 2019, 13 (2), pp. 34-42.

15. Harucha M. J., Legohn A. S. Nonlinearity in human health response to ozone: Experimental laboratory consideration. *Atmos. Environ.* 2007, 41 (22), pp. 4559-4570.

16. Hazari M. S., Winsett D. W., Kulukulalani A., Carll A. P., Najwa Haykal-Coates, Lamb C. M., Lappi E., Terrell D., Cascio W. E., Costa D. L. Overt and latent cardiac effects of ozone inhalation in rats: evidence for autonomic modulation and increased myocardial vulnerability. *Environmental Health Perspectives*. 2012, 120 (3), pp. 348-354.

17. Kinney P. L. Interactions of Climate Change, Air Pollution, and Human Health. *Curr. Environ. Health Rep.* 2018, 5 (1), pp. 179-186. Doi: 10.1007/s40572-018-0188-x

18. Kochs E. Electrophysiological monitoring and mild hypothermia. *J Neurosurg Anesthesiol.* 1995, 7, pp. 222-228. Doi: 10.1097/00008506-199507000-00022.20

19. Ren C., Williams G., Morawska L., Mengersen K., Tong S. Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality - the analysis using the NMMAPS Data. *Epidemiology*. 2007, 18 (5), pp. 69-70.

20. Sherbakov T., Malig B., Guirguis K., Gershunov A., Basu R. Ambient temperature and added heat wave effects on hospitalizations in California from 1999 to 2009. *Environ Res.* 2018, 160, pp. 83-90. Doi: 10.1016/j.envres.2017.08.052. Epub 2017 Sep 30

21. The European environment. State and outlook 2010. Synthesis. Copenhagen, European Environment Agency, 2010, 228 p.

22. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grijbovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry. *Epidemiologia and prevenzione*. 2010, 34 (5-6), p. 138.

Контактная информация:

Евстафьева Елена Владимировна — доктор медицинских наук, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой физиологии нормальной Медицинской академии им. С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»

Адрес: 295051, Республика Крым, г. Симферополь, бульвар Ленина, д. 5/7

E-mail: e.evstafeva@mail.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАГРУЗКИ СМЕРТНОСТИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ПРИЧИН НА ОЖИДАЕМУЮ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ

© 2020 г. ¹А. А. Миронова, ¹А. Н. Наркевич, ¹К. А. Виноградов, ¹Р. Б. Курбанисмаилов,
^{2,3,4,5}А. М. Гржибовский

¹Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск; ²Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск; ³Западно-Казахстанский медицинский университет им. Марата Оспанова, г. Актобе, Казахстан; ⁴Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан; ⁵Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск

В настоящее время одной из основных стратегических задач здравоохранения, установленных государственной программой Российской Федерации «Развитие здравоохранения» до 2025 года и Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», является увеличение ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ). В статье приведена разработанная методика оценки нагрузки смертности от различных причин на ОПЖ, учитывающей элиминированные резервы смертности и число случаев смерти от различных причин. Для иллюстрации предлагаемой методики использованы данные первичных баз смертности по городским округам и муниципальным районам Красноярского края, а также среднегодовой численности населения Красноярского края за период с 1999 по 2018 год, которые формируются Управлением Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва. Ввиду того, что применение представленной методики сопряжено с объемными расчетами, для автоматизированного расчета нагрузки смертности населения на ожидаемую продолжительность жизни населения разработана программа DeathAnalytics. Основная идея, на которой построена методика, заключается в расчете интегрального показателя, учитывающего одновременно вклад случаев смерти от различных причин и число таких случаев смерти. В работе представлены этапы расчета показателя нагрузки смертности на ОПЖ, возможности его интерпретации и применения для изучения смертности населения. Использование методики дает возможность выделить причины смерти, которые оказывают наибольшую нагрузку на снижение ОПЖ населения, что позволяет разрабатывать региональные или общероссийские программы по снижению смертности населения с целью наиболее эффективного повышения ОПЖ населения.

Ключевые слова: ожидаемая продолжительность жизни, смертность населения, элиминированные резервы, причины смерти, демография

ESTIMATION METHOD OF CONTRIBUTION OF CAUSE-SPECIFIC MORTALITY TO LIFE EXPECTANCY

¹A. A. Mironova, ¹A. N. Narkevich, ¹K. A. Vinogradov, ¹R. B. Kurbanismayilov,
^{2,3,4,5}A. M. Grjibovski

¹Krasnoyarsk V. F. Voyno-Yasenetsky State Medical University, Krasnoyarsk, Russia; ²Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia; ³West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, Aktobe, Kazakhstan; ⁴Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; ⁵North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

An increase in life expectancy is one of the main strategic objectives declared by the Russian Federation. Thus, an understanding of how this objective can be achieved with available recourses in the most efficient way is warranted. We propose an automated method for estimating the contribution of cause-specific mortality to life expectancy. To illustrate the proposed method, we used the data from primary mortality databases in the Krasnoyarsk region - one of the largest federal subjects of the Russian Federation - and the data on the average population of the of the region from 1999 to 2018 from the Federal state statistics office in Krasnoyarsk, Khakassia Republic and Tyva Republic. A computer program "DeathAnalytics" has been developed by the authors for automated calculation of the contribution of cause-specific mortality to life expectancy. The main idea behind is to calculate an integral indicator that takes into account both the contribution of deaths from various causes and the absolute number of these deaths. The paper presents the stages of calculation, interpretation and a practical example. The use of the methodology presented in the article allows to identify the causes of death that have the greatest impact contribution to reduction of life expectancy, which in turn allows to identify targets for public health measures that will most effectively increase life expectancy of the population.

Key word: life expectancy, mortality, eliminated reserves, causes of death, demography

Библиографическая ссылка:

Миронова А. А., Наркевич А. Н., Виноградов К. А., Курбанисмаилов Р. Б., Гржибовский А. М. Методика оценки нагрузки смертности от различных причин на ожидаемую продолжительность жизни // Экология человека. 2020. № 5. С. 57–64.

For citing:

Mironova A. A., Narkevich A. N., Vinogradov K. A., Kurbanismayilov R. B., Grjibovski A. M. Estimation Method of Contribution of Cause-Specific Mortality to Life Expectancy. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 57-64.

В настоящее время одной из основных стратегических задач здравоохранения, установленных государственной программой Российской Федерации «Развитие здравоохранения» до 2025 года и Указом

Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», является увеличение ожидаемой про-

должительности жизни (ОПЖ, Life expectancy – LE). Несомненно, что для управления процессом увеличения ОПЖ населения необходимы современные методики ее изучения и оценки связи со смертностью населения [8, 14, 15, 20, 21]. Для изучения связи смертности и ОПЖ населения существуют различные методики [3–6]. К ним можно отнести как построение классических таблиц смертности [11, 20], так и оценку элиминированных резервов [19] и компонентный анализ смертности населения [13].

Методика оценки элиминированных резервов смертности позволяет выявить, насколько потенциально могла бы измениться ОПЖ населения при исключении (элиминировании) числа случаев смерти в конкретной возрастной группе или от конкретных причин [2, 7]. Иными словами, данная методика дает возможность определить вклад смертности в различных возрастных группах от различных причин. Компонентный анализ с различными вариациями расчета повозрастных компонент смертности [10, 12, 16–18] позволяет оценить влияние динамики смертности от различных причин на изменение ОПЖ за какой-то временной период [1].

Несмотря на наличие широкого инструментария для изучения связи смертности и ОПЖ населения, данные методики не могут однозначно определить, при снижении смертности от каких причин будет наибольший эффект в увеличении ОПЖ. Так, компонентный анализ позволяет оценить динамику ОПЖ за какой-либо предыдущий период (5, 10, 15 или более лет), что дает возможность лишь более детально изучить изменение ОПЖ населения, но не оценить текущую ситуацию. Использование элиминированных резервов смертности без учета числа случаев смерти от конкретных причин не позволяет в полной мере принимать управленческие решения по концентрации системы здравоохранения на снижении смертности от данных причин.

В связи с тем, что в текущем инструментарии изучения связи смертности и ОПЖ населения отсутствуют интегральные показатели, учитывающие одновременно элиминированные резервы и число случаев смерти среди населения от различных причин, целью данной работы явилась разработка методики оценки нагрузки смертности от различных причин на ожидаемую продолжительность жизни, рассматривающей элиминированные резервы смертности и число случаев смерти от различных причин.

Данные для использования методики и ее автоматизация

Для определения нагрузки смертности на ОПЖ населения в качестве входных данных применяются те же показатели, что и для расчета элиминированных резервов и компонентного анализа смертности. Для иллюстрации расчетов нами использованы данные первичных баз смертности по городским округам и муниципальным районам Красноярского края и о среднегодовой численности населения Красноярского края за период с 2001 по 2018 год, которые формируются Управлением Федеральной службы

государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва.

Для автоматизированного расчета нагрузки смертности населения на ОПЖ населения использована программа для ЭВМ DeathAnalytics (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2018664453 от 16.11.2018 г.). Для оценки динамики изучаемых показателей производился расчет темпа прироста (%).

Описание методики оценки нагрузки смертности от различных причин на ожидаемую продолжительность жизни

Основная идея, на которой построена методика оценки нагрузки смертности на ОПЖ населения, заключается в расчете интегрального показателя, учитывающего одновременно вклад случаев смерти от различных причин в ОПЖ и число таких случаев смерти.

Первым этапом расчета показателя нагрузки смертности на ОПЖ является определение элиминированных резервов от различных причин на основе классической краткой таблицы смертности. Данный этап может реализовываться различными способами. Во-первых, элиминированные резервы от конкретной причины смерти могут быть рассчитаны путем элиминации всех случаев смерти от данной причины и определением разности между полученным и фактическим значениями ОПЖ. Во-вторых, данные резервы могут вычисляться путем исключения всех случаев смерти от конкретной причины в каждой возрастной группе для определения резервов в каждой из возрастных групп, дальнейшего их деления на число случаев для расчета элиминированных резервов одного случая смерти в каждой возрастной группе с последующим произведением данных резервов и числа случаев смерти в каждой возрастной группе. И, в-третьих, элиминированные резервы смертности от конкретной причины могут быть выявлены путем исключения в каждой возрастной группе по одному случаю смерти с последующим произведением данных резервов и числа случаев смерти в каждой возрастной группе.

При этом первый и второй подходы имеют некоторые недостатки. В связи с тем, что между числом случаев смерти в конкретной возрастной группе и вкладом одного случая смерти в ОПЖ в данной возрастной группе имеется нелинейная связь, использование первого подхода приводит к тому, что два случая смерти от разных причин, но в одной возрастной группе будут иметь различный вклад в ОПЖ. Второй подход не позволяет оценивать вклад случаев смерти, произошедших в последней возрастной группе [9].

В связи со всем вышеупомянутым первым этапом методики оценки нагрузки смертности на ОПЖ населения предполагается расчет элиминированных резервов одного случая смерти в каждой возрастной группе (табл. 1). Несомненно, что снижение смертности от различных причин в группах населения молодого возраста приведет к более значительному повышению ОПЖ, однако число случаев смерти в этих группах настолько мало, а полное снижение

Таблица 1

Смертность населения Красноярского края в 2017 году и вклад в ожидаемую продолжительность жизни одного случая смерти в каждой возрастной группе

Возрастной интервал	Число умерших	Среднегодовая численность населения	Коэффициент смертности	Вероятность смерти	Число доживающих до возраста	Число умирающих в возрасте	Число живущих в возрастном интервале	Число человеко-лет, прожитых после достижения возраста	ОПЖ	Вклад одного случая смерти в ОПЖ
0	228	37521,5	0,0061	0,0061	100000,0	605,1	99697,5	7066916,1	70,7	0,00187
1–4	61	162528,0	0,0004	0,0015	99394,9	149,1	397281,5	6967218,7	70,1	0,00167
5–9	49	182419,5	0,0003	0,0013	99245,8	133,2	495896,2	6569937,1	66,2	0,00173
10–14	56	153466,0	0,0004	0,0018	99112,6	180,7	495111,5	6074041,0	61,3	0,00190
15–19	120	138537,0	0,0009	0,0043	98932,0	427,5	493591,0	5578929,5	56,4	0,00192
20–24	226	155273,0	0,0015	0,0073	98504,4	714,3	490736,4	5085338,5	51,6	0,00156
25–29	492	236676,5	0,0021	0,0103	97790,2	1011,2	486422,8	4594602,1	47,0	0,00092
30–34	903	260424,0	0,0035	0,0172	96779,0	1663,4	479736,3	4108179,2	42,4	0,00074
35–39	1258	233289,5	0,0054	0,0266	95115,5	2530,4	469251,6	3628442,9	38,1	0,00073
40–44	1330	209656,5	0,0063	0,0312	92585,1	2890,8	455698,6	3159191,3	34,1	0,00070
45–49	1318	179764,5	0,0073	0,0360	89694,3	3228,9	440399,2	2703492,7	30,1	0,00069
50–54	1782	180162,0	0,0099	0,0483	86465,4	4173,0	421894,4	2263093,5	26,2	0,00057
55–59	3017	207509,5	0,0145	0,0701	82292,4	5772,5	397030,7	1841199,1	22,4	0,00040
60–64	3844	183637,0	0,0209	0,0995	76519,9	7610,5	363573,2	1444168,4	18,9	0,00034
65–69	4074	141211,0	0,0289	0,1345	68909,4	9271,6	321367,9	1080595,1	15,7	0,00032
70–74	2249	60213,5	0,0374	0,1708	59637,8	10186,3	272723,1	759227,3	12,7	0,00051
75–79	4708	80059,5	0,0588	0,2563	49451,5	12676,6	215565,7	486504,2	9,8	0,00023
80–84	4040	43187,5	0,0935	0,3791	36774,8	13940,4	149023,1	270938,5	7,4	0,00022
85–89	3592	22354,5	0,1607	0,5732	22834,4	13088,0	81452,0	121915,4	5,3	0,00017
90 и старше	1929	8008,5	0,2409	1,0000	9746,4	9746,4	40463,5	40463,5	4,2	0,00021

смертности практически невозможно, то возможности влияния на увеличение ОПЖ за счет данных возрастных групп незначительные. Данный факт подтверждает то, что при выделении нагрузки на ОПЖ необходим учет не только элиминированных резервов, но и числа случаев смерти.

На следующем этапе необходимо определить элиминированные резервы по каждой причине смерти. Показатель рассчитывается путем суммирования произведений числа умерших в каждой возрастной группе от конкретной причины и соответствующих вкладов

одного случая смерти в ОПЖ в данной возрастной группе (рис. 1). На первый взгляд, полученные данные позволяют определить причины, снижение смертности от которых внесет наибольший вклад в увеличение ОПЖ, но отсутствие информации о числе случаев смерти, которые формируют данный вклад, не позволяет этого сделать.

Дальнейшим этапом является линейная аппроксимация соотношения числа случаев смерти от конкретной причины и вклада, который данные причины вносят в ОПЖ (рис. 2). Данная линейная

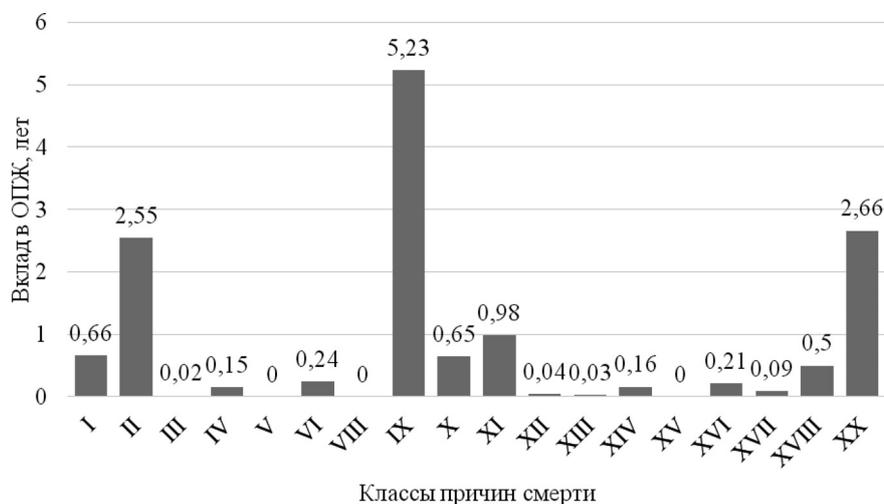


Рис. 1. Вклад смертности от причин смерти различных классов в ожидаемую продолжительность жизни, полученный с помощью методики оценки элиминированных резервов, у населения Красноярского края в 2017 году

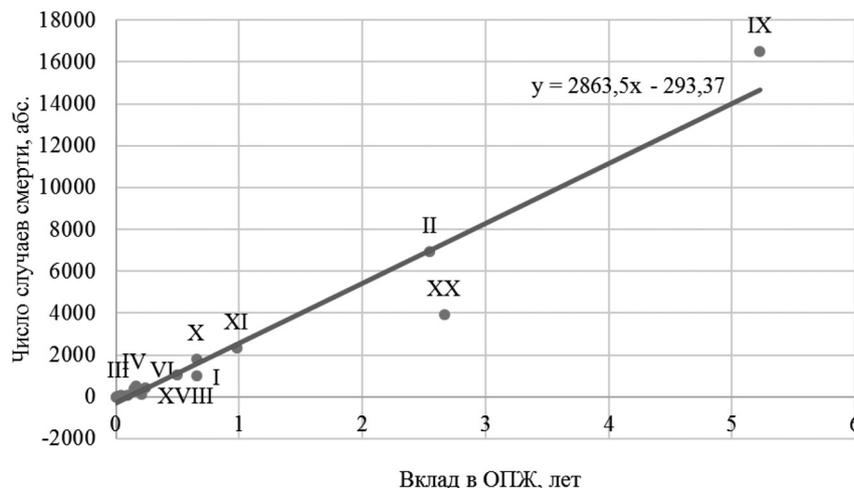


Рис. 2. Линейная аппроксимация соотношения числа случаев смерти от причин смерти различных классов и вклада данных случаев в ожидаемую продолжительность жизни в 2017 году

аппроксимация – простое линейное регрессионное уравнение, которое имеет вид:

$$y = ax + b,$$

где y – число случаев смерти от конкретной причины, x – вклад данной причины смерти в ОПЖ, a – угол наклона линии, b – точка пересечения линии оси y .

При использовании описываемой методики причины смерти могут группироваться не только по классам, но и любым другим образом (по рубрикам, группам рубрик, краткой номенклатуре и т. д.), в таком случае график может стать совершенно неинформативным ввиду большого числа точек и наложения их друг на друга. Для этого данные могут быть представлены в табличном виде (табл. 2). В данной таблице также

приведены дальнейшие этапы расчета нагрузки смертности на ОПЖ.

Дальнейшим этапом расчетов является вычисление показателя ожидаемого числа случаев смерти от конкретной причины с использованием полученного линейного уравнения, в нашем примере:

$$y = 2863,5x - 293,37.$$

Ожидаемое число случаев смерти от конкретной причины характеризует число случаев смерти от данной причины, которое должно быть, если бы повозрастная структура всех причин смерти и, соответственно, вклад одного случая смерти от каждой причины были бы одинаковыми. Однако на практике данной ситуации не происходит и ожидаемое число случаев смерти от какой-либо причины отличается от фактического, а

Таблица 2

Расчет нагрузки смертности от различных причин на ожидаемую продолжительность жизни населения Красноярского края в 2017 году

Класс причин смерти	Вклад	Число случаев	Ожидаемое число случаев	Нагрузка на ОПЖ	Нормированная нагрузка на ОПЖ	Относительная нагрузка на ОПЖ	Место
I	0,6563	1020	1585,89	565,89	2406,90	7,26	2
II	2,5486	6917	7004,42	87,42	1928,43	5,82	5
III	0,0177	34	-242,63	-276,63	1564,38	4,72	13
IV	0,1471	402	127,91	-274,09	1566,92	4,73	12
V	0,0003	1	-292,40	-293,40	1547,61	4,67	16
VI	0,2397	426	393,09	-32,91	1808,1	5,46	7
VIII	0,0020	4	-287,71	-291,71	1549,3	4,68	15
IX	5,2256	16511	14669,99	-1841,01	0,0	0,00	18
X	0,6529	1806	1576,24	-229,76	1611,25	4,86	9
XI	0,9793	2334	2510,87	176,87	2017,88	6,09	4
XII	0,0388	88	-182,29	-270,29	1570,72	4,74	11
XIII	0,0258	52	-219,41	-271,41	1569,6	4,75	10
XIV	0,1618	507	169,79	-337,21	1503,8	4,54	17
XV	0,0030	3	-284,91	-287,91	1553,1	4,69	14
XVI	0,2108	113	310,29	197,29	2038,3	6,15	3
XVII	0,0933	66	-26,10	-92,10	1748,91	5,28	8
XVIII	0,4976	1064	1131,38	67,38	1908,39	5,76	6
XX	2,6628	3928	7331,58	3403,58	5244,59	15,83	1
Сумма	14,163	35276	35276	0,0	33138,18	100,0	-

разность между ними и является нагрузкой данной причины на ОПЖ. Наличие как положительных, так и отрицательных значений нагрузки на ОПЖ создает значительное неудобство при анализе. Для того чтобы исключить данные неудобства, далее возможно рассчитать нормализованную нагрузку на ОПЖ: определить ее минимальное значение (в нашем случае – 1841,01) и прибавить его модуль ко всем значениям факторной нагрузки. При такой нормировке минимальное значение нагрузки на ОПЖ станет равно 0,0. Для еще большей оптимизации анализа и возможности сравнения нагрузки на ОПЖ в динамике может быть рассчитана относительная нагрузка на ОПЖ, для чего все значения нормированной нагрузки пересчитываются в проценты относительно суммы всех значений нормированной нагрузки на ОПЖ.

Для более детальной оценки нагрузки смертности на ОПЖ причины смерти могут быть рассмотрены путем декомпозиции на рубрики, группы рубрик, группы по краткой номенклатуре, используемой Росстатом, или с применением любой другой классификации. Также анализ может осуществляться в различных гендерных группах населения и среди населения, проживающего в городской и сельской местности. На рис. 3 и 4 представлена нагрузка смертности на ОПЖ от причин смерти, сгруппированных по группам рубрик, у мужского и женского населения. В табл. 3 и 4 представлена нагрузка смертности от причин смерти первых пяти групп рубрик среди мужчин и женщин.

Как видно из данных, приведенных в табл. 3, наибольшую нагрузку на ОПЖ у мужчин имеют внешние причины смерти (повреждение с неопре-

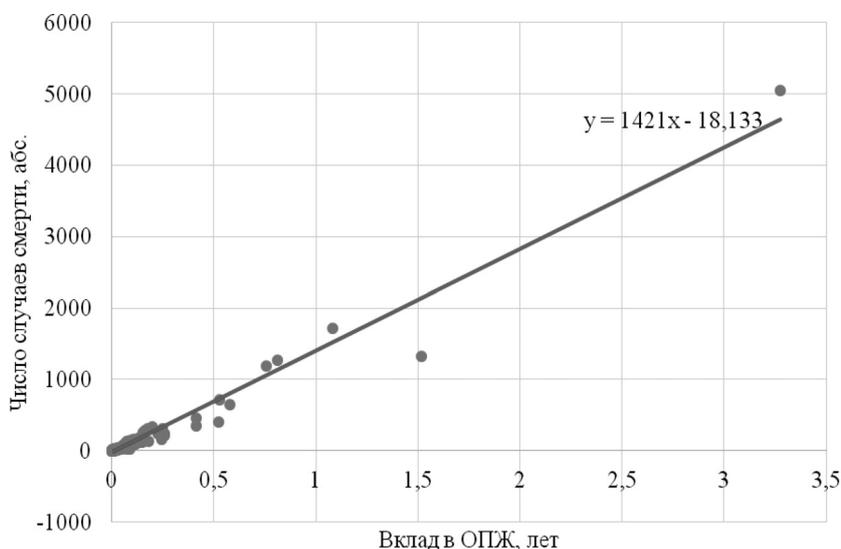


Рис. 3. Линейная аппроксимация соотношения числа случаев смерти от причин смерти различных групп рубрик и вклада данных случаев в ожидаемую продолжительность жизни мужского населения в 2017 году

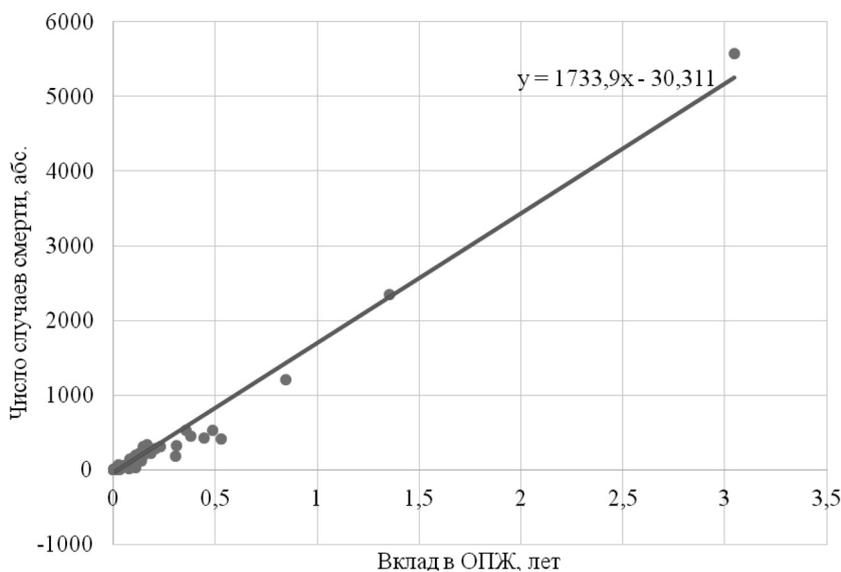


Рис. 4. Линейная аппроксимация соотношения числа случаев смерти от причин смерти различных групп рубрик и вклада данных случаев в ожидаемую продолжительность жизни женского населения в 2017 году

деленными намерениями (Y10-Y34), преднамеренное самоповреждение (X60-X84), лицо, находившееся в легковом автомобиле и пострадавшее в результате транспортного несчастного случая (V40-V49)), а также смертность от болезни, вызванной вирусом иммунодефицита человека (B20-B24), и неточно обозначенные и неизвестные причины смерти (R95-R99).

При сравнении результатов линейной аппроксимации связи случаев смерти и вклада в ОПЖ у мужчин (см. рис. 3) и женщин (см. рис. 4) необходимо отметить, что у вторых линия аппроксимации имеет более вертикальный характер. Это свидетельствует о менее негативной ситуации в отношении смертности среди женщин по сравнению с мужчинами — чем вертикальнее линия аппроксимации, тем меньший вклад в снижение ОПЖ вносит одно и то же число случаев смерти.

Как видно из данных, приведенных в табл. 4, наибольшую нагрузку на ОПЖ у женщин, так же, как и у мужчин, имеют внешние причины смерти (повреждение с неопределенными намерениями (Y10-Y34)). Однако все остальные причины смерти, находящиеся в первой пятерке причин смерти с наибольшей нагрузкой на ОПЖ у женщин, относятся к естественным, причем относятся к различным классам причин. Так, в первую пятерку причин смерти с наибольшей нагрузкой на ОПЖ у женщин в 2017 году вошли болезнь, вызванная вирусом иммунодефицита человека (B20-B24), болезни печени (K70-K77),

злокачественные новообразования женских половых органов (C51-C58) и злокачественные новообразования органов пищеварения (C15-C26).

Несомненным преимуществом использования относительной нагрузки на ОПЖ по сравнению с абсолютной или нормированной нагрузкой является возможность рассмотреть данный показатель в динамике, что позволяет оценивать сложившиеся тенденции нагрузки на ОПЖ. На рис. 5 приведена динамика относительной нагрузки смертности от болезни, вызванной вирусом иммунодефицита человека (B20-B24), и болезней печени (K70-K77) среди всего населения Красноярского края за период с 2001 по 2017 год. Представленная динамика свидетельствует о её существенном росте. Так, за период с 2001 по 2017 год относительная нагрузка смертности от болезней печени увеличилась на 26,9 % — с 0,78 до 0,99%, а от болезни, вызванной вирусом иммунодефицита человека, на 80,9 % — с 0,63 до 1,14 %.

Заключение

Таким образом, в статье представлена методика оценки нагрузки смертности от различных причин на ОПЖ населения, являющейся интегральным показателем, учитывающим одновременно вклад случаев смерти от различных причин и число таких случаев. Использование данной методики позволяет выделить причины смерти, которые оказывают наибольшую нагрузку на снижение ОПЖ населения, что дает возможность

Таблица 3

Нагрузка смертности от причин смерти первых пяти групп рубрик на ожидаемую продолжительность жизни мужского населения Красноярского края в 2017 году

Группа рубрик	Вклад	Число случаев	Ожидаемое число случаев	Нагрузка на ОПЖ	Нормированная нагрузка на ОПЖ	Относительная нагрузка на ОПЖ
Повреждение с неопределенными намерениями (Y10-Y34)	1,5183	1324	2139,48	815,48	1228,81	2,20
Преднамеренное самоповреждение (X60-X84)	0,5233	406	725,51	319,51	732,84	1,31
Болезнь, вызванная вирусом иммунодефицита человека (B20-B24)	0,4124	342	567,92	225,92	639,25	1,15
Лицо, находившееся в легковом автомобиле и пострадавшее в результате транспортного несчастного случая (V40-V49)	0,2422	165	326,09	161,09	574,42	1,03
Неточно обозначенные и неизвестные причины смерти (R95-R99)	0,5794	646	805,22	159,22	572,56	1,03

Таблица 4

Нагрузка смертности от причин смерти первых пяти групп рубрик на ожидаемую продолжительность жизни женского населения Красноярского края в 2017 году

Группа рубрик	Вклад	Число случаев	Ожидаемое число случаев	Нагрузка на ОПЖ	Нормированная нагрузка на ОПЖ	Относительная нагрузка на ОПЖ
Повреждение с неопределенными намерениями (Y10-Y34)	0,5302	418	889,01	471,01	794,63	1,81
Болезнь, вызванная вирусом иммунодефицита человека (B20-B24)	0,3036	179	496,14	317,14	640,76	1,46
Болезни печени (K70-K77)	0,4460	432	742,95	310,95	634,58	1,44
Злокачественные новообразования женских половых органов (C51-C58)	0,4844	532	809,63	277,63	601,25	1,37
Злокачественные новообразования органов пищеварения (C15-C26)	0,8459	1203	1436,47	233,47	557,09	1,27

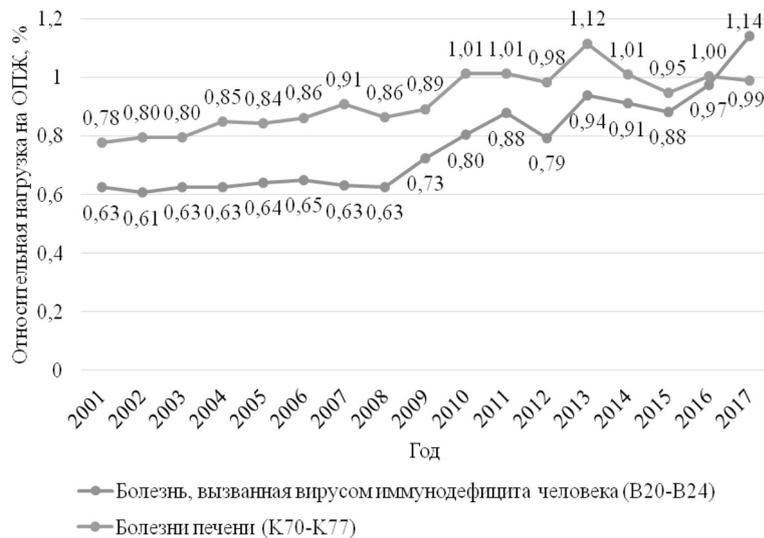


Рис. 5. Динамика относительной нагрузки смертности от болезни, вызванной вирусом иммунодефицита человека (B20-B24), и болезней печени (K70-K77) на ожидаемую продолжительность жизни населения Красноярского края за период с 2001 по 2017 год

разрабатывать региональные или общероссийские программы по снижению смертности населения с целью наиболее эффективного увеличения ОПЖ населения как отдельных территорий, так и Российской Федерации в целом. Методика может явиться одним из элементов методологии планирования медицинской помощи и формирования политики в системе здравоохранения на национальном и региональном уровнях.

Авторство

Миронова А. А. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; подготовила первый вариант статьи; окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Наркевич А. Н. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; подготовил первый вариант статьи; окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Виноградов К. А. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; существенно переработал первый вариант статьи на предмет важного интеллектуального содержания; окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Курбанисмаилов Р. Б. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; существенно переработал первый вариант статьи на предмет важного интеллектуального содержания; окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Гржибовский А. М. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; существенно переработал первый вариант статьи на предмет важного интеллектуального содержания; окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись.

Миронова Алёна Андреевна – ORCID 0000-0002-3617-1421; SPIN 6804-7171
 Наркевич Артем Николаевич – ORCID 0000-0002-1489-5058; SPIN 9030-1493
 Виноградов Константин Анатольевич – ORCID 0000-0001-6224-5618; SPIN 6924-0110
 Курбанисмаилов Ренат Бадрудиневич – ORCID 0000-0001-7814-9479; SPIN 8160-5460

Гржибовский Андрей Мечиславович – ORCID 0000-0002-5464-0498; SPIN 5118-0081

Список литературы

1. Андреев Е. М. Метод компонент в анализе продолжительности жизни // Вестник статистики. 1982. № 9. С. 42–47.
2. Антипов В. В., Антипова С. И. Медико-демографические характеристики эпидемиологического перехода в Беларуси // Медицинские новости. 2014. № 3. С. 26–31.
3. Будаев Б. С., Зарбуев А. Н., Данзанова Д. Г., Наркевич А. Н., Виноградов К. А. Динамика показателя смертности от туберкулеза населения Республики Бурятия в 2013–2017 годах // Сибирское медицинское обозрение. 2019. № 1. С.80–84.
4. Глушаков А. И. Показатель «Ожидаемая продолжительность жизни»: определение, методы расчета и анализа // Общественное здоровье и здравоохранение. 2004. № 1. С. 12–16.
5. Григорьев Ю. А. Метод компонент в анализе элиминационного резерва средней продолжительности жизни населения // Медицина и демография. Новокузнецк, 1984. С. 49–51.
6. Григорьев Ю. А., Баран О. И. Опыт многомерного статистического анализа в медико-демографических исследованиях // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. 2017. № 20. С. 169–175.
7. Короленко А. В., Морев М. В. О демографических последствиях суицидальной смертности // Суицидология. 2015. № 4. С. 48–60.
8. Морев М. В., Короленко А. В. Оценка демографических и социально-экономических потерь вследствие преждевременной смертности населения России и Вологодской области // Проблемы прогнозирования. 2018. № 2. С. 110–123.
9. Наркевич А. Н., Миронова А. А. Вклад случаев смерти от различных причин в ожидаемую продолжительность жизни населения Красноярского края и его динамика // Медицинский альянс. 2019. № 1. С. 71–81.
10. Стефановський А. Компонентний аналіз середньої тривалості життя населення. Київ: Інститут економіки НАН України, 2001. 128 с.

11. Arias E., Heron M., Xu J. United States Life Tables, 2014 // National Vital Statistics Reports. 2017. N 4. P. 1–64.
12. Arriaga E. E. Measuring and Explaining the Change in Life Expectancies // Demography. 1984. N 21. P. 83–96.
13. Chandra Sekar C. The effect of the change in mortality conditions in an age group on the expectation of life at birth // Human Biology. 1949. N 1. P. 35–46.
14. Dicker D., Nguyen G., Abate D. Global, regional, and national age-sex-specific mortality and life expectancy, 1950-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 // Lancet. 2018. N 10159. P. 1684–1735.
15. Murray C. J. L., Ferguson B. D., Lopez A. D., Guillot M., Salomon J. A., Ahmad O. Modified logit life table system: principles, empirical validation, and application // Population studies. 2003. N 57. P. 165–182.
16. Pollard J. H. Methodological issues in the measurement of inequality of death // WHO/ESCAP «Mortality in South and East Asia: A Review of Changing Trends and Patterns», Manila, 1980. Geneva: World Health Organization, 1982. P. 531–558.
17. Pollard J. H. On the decomposition of changes in expectation of life and differentials in life expectancy // Demography. 1988. N 2. P. 265–276.
18. Pollard J. H. The expectation of life and its relationship to mortality // Journal of the Institute of Actuaries. 1982. N 109. P. 225–240.
19. Preston S. H., Heuveline P., Guillot M. Demography: measuring and modeling population processes. Oxford: Blackwell Publishers Inc., 2001. 291 p.
20. Wang H., Abajobir A. A., Abate K. H. Global, regional, and national under-5 mortality, adult mortality, age-specific mortality, and life expectancy, 1970-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 // Lancet. 2017. 390 (10100). P. 1084–1150.
21. Wang H., Dwyer-Lindgren L., Lofgren K. T., Rajaratnam J. K., Marcus J. R., Levin-Rector A., Levitz C. E., Lopez A. D., Murray C. J. L. Age-specific and sex-specific mortality in 187 countries, 1970-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010 // Lancet. 2012. N 380. P. 2071–2094.

References

1. Andreev E. M. The method of components in the analysis of life expectancy. *Vestnik statistiki* [Bulletin of statistics]. 1982, 9, pp. 42-47. [In Russian]
2. Antipov V. V., Antipova S. I. Medical and demographic characteristics of the epidemiological transition in Belarus. *Meditsinskie novosti* [Medical news]. 2014, 3, pp. 26-31. [In Russian]
3. Budaev B. S., Zarbuev A. N., Danzanova D. G., Narkevich A. N., Vinogradov K. A. Dynamics of the mortality rate from tuberculosis in the Republic of Buryatia in 2013-2017. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* [Siberian medical review]. 2019, 1, pp. 80-84. [In Russian]
4. Glushakov A. I. Indicator «Life expectancy»: definition, methods of calculation and analysis. *Obshchestvennoe zdorov'e i zdravookhraneniye* [Public health and healthcare]. 2004, 1, pp. 12-16. [In Russian]
5. Grigor'ev Yu. A. Metod komponent v analize eliminatsionnogo rezerva srednei prodolzhitel'nosti zhizni naseleniya [Method of components in the analysis of the elimination reserve of the average life expectancy of the population]. In: *Meditsina i demografiya* [Medicine and demography]. Novokuznetsk, 1984, pp. 49-51.
6. Grigor'ev Yu. A., Baran O. I. The experience of multidimensional statistical analysis in demographic and health research. *Vestnik Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Zapadno-Sibirskoe otdeleniye* [Bulletin of the Russian

Academy of natural Sciences. West Siberian branch]. 2017, 20, pp. 169-175. [In Russian]

7. Korolenko A. V., Morev M. V. On the demographic consequences of suicide mortality. *Suitsidologiya* [Suicidology]. 2015, 4, pp. 48-60. [In Russian]

8. Morev M. V., Korolenko A. V. Estimation of demographic and socio-economic losses due to premature mortality of the population of Russia and the Vologda region. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of forecasting]. 2018, 2, pp. 110-123. [In Russian]

9. Narkevich A. N., Mironova A. A. Contribution of deaths from various causes to the life expectancy of the population of the Krasnoyarsk territory and its dynamics. *Meditsinskii al'yans* [Medical Alliance]. 2019, 1, pp. 71-81. [In Russian]

10. Stefanovskii A. *Komponentnii analiz seredn'oi trivalosti zhittya naseleyniya* [Component analysis of the middle trivalosti life of the population]. Kiev, 2001, 128 p. [In Ukrainian]

11. Arias E., Heron M., Xu J. United States Life Tables, 2014. *National Vital Statistics Reports*. 2017, 4, pp. 1-64.

12. Arriaga E. E. Measuring and Explaining the Change in Life Expectancies. *Demography*. 1984, 21, pp. 83-96.

13. Chandra Sekar C. The effect of the change in mortality conditions in an age group on the expectation of life at birth. *Human Biology*. 1949, 1, pp. 35-46.

14. Dicker D., Nguyen G., Abate D. Global, regional and national age-sex-specific mortality and life expectancy, 1950-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018, 10159, pp. 1684-1735.

15. Murray C. J. L., Ferguson B. D., Lopez A. D., Guillot M., Salomon J. A., Ahmad O. Modified logit life table system: principles, empirical validation, and application. *Population studies*. 2003, 57, pp. 165-182.

16. Pollard J. H. Methodological issues in the measurement of inequality of death. In: WHO/ESCAP «Mortality in South and East Asia: A Review of Changing Trends and Patterns», Manila, 1980. Geneva, World Health Organization, 1982, pp. 531-558.

17. Pollard J. H. On the decomposition of changes in expectation of life and differentials in life expectancy. *Demography*. 1988, 2, pp. 265-276.

18. Pollard J.H. The expectation of life and its relationship to mortality. *Journal of the Institute of Actuaries*. 1982, 109, pp. 225-240.

19. Preston S. H., Heuveline P., Guillot M. Demography: measuring and modeling population processes. Oxford, Blackwell Publishers Inc., 2001, 291 p.

20. Wang H., Abajobir A. A., Abate K. H. Global, regional, and national under-5 mortality, adult mortality, age-specific mortality, and life expectancy, 1970-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*. 2017, 390 (10100), pp. 1084-1150.

21. Wang H., Dwyer-Lindgren L., Lofgren K. T., Rajaratnam J. K., Marcus J. R., Levin-Rector A., Levitz C. E., Lopez A. D., Murray C. J. L. Age-specific and sex-specific mortality in 187 countries, 1970-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012, 380, pp. 2071-2094.

Контактная информация:

Наркевич Артём Николаевич — кандидат медицинских наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией медицинской кибернетики и управления в здравоохранении, доцент кафедры медицинской кибернетики и информатики ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России

Адрес: 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1

E-mail: narkevichart@gmail.com