

ЭКОЛОГИЯ

Ч Е Л О В Е К А

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

08.2020

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. Кйку (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 29.06.20. Дата выхода в свет 18.08.20. Формат 60×90/8. Печать цифровая.

Уч.-изд. л. 6,7. Тираж 1000 экз., зак. 2238.

Индекс 20454. Цена свободная

© Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

HUMAN

ECOLOGY

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC JOURNAL

08.2020

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

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Горбунов А. В., Ермолаев Б. В., Ляпунов С. М.,
Окина О. И., Фронгасьева М. В., Павлов С. С.**
Особенности распределения макро- и микроэлементов
в урбанизированных средах городов Карелии..... 4

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

- Карпин В. А., Гудков А. Б., Шувалова О. И., Попова О. Н.**
Геологическая неоднородность земной коры
как фактор повышенного риска
онкологической заболеваемости населения..... 15

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

- Зубаткина О. В., Добродеева Л. К., Попов А. А.,
Самодова А. В., Круглов С. Д.**
Обеспеченность аденозинтрифосфатом лимфоцитов
периферической крови у жителей
Европейского Севера России..... 20

- Гусаченко Л. А., Литовченко О. Г.**
Естественные АВ0 антитела у этнических групп мокша и эрзя
Республики Мордовия..... 26

ЭКОЛОГИЯ ТРУДА

- Киёк О. В., Покровский В. М.**
Функциональное состояние учащихся по профессии токарь
при прохождении производственной практики 33

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Музыкин М. И., Иорданишвили А. К.**
Модель саногенеза постэкстракционной регенерации
костной ткани челюстей 40

МЕНТАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Белова О. С., Соловьев А. Г., Леппиман А.**
Система ранней комплексной помощи детям группы риска
нарушения психического развития в России 49

МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Наркевич А. Н., Виноградов К. А.**
Наиболее частые ошибки, совершаемые
при представлении результатов исследований..... 55

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В УРБАНИЗИРОВАННЫХ СРЕДАХ ГОРОДОВ КАРЕЛИИ

© 2020 г. А. В. Горбунов, Б. В. Ермолаев, С. М. Ляпунов, О.И. Окина,
*М. В. Фронтасьева, *С. С. Павлов

ФГБУН «Геологический институт Российской академии наук», г. Москва;
*Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ, г. Дубна

Цель работы – изучение распределения макро- и микроэлементов в основных урбанизированных средах городов Карелии. *Методы.* Произведен отбор образцов почв, растительности, воды поверхностных водотоков, донных отложений и представителей биоты (рыбы) восьми городов республики. Всего было отобрано около 300 образцов. Анализ отобранного материала проводился с помощью инструментального нейтронного активационного анализа (ИНАА), рентгеноспектрального анализа (РФА), атомной абсорбционной спектроскопии (ААС) с «холодным паром» и масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой (ИСП-МС). На основании этого анализа были определены концентрации 32 химических элементов в почве, листьях березы, донных отложениях, воде и представителях биоты (рыбы). *Результаты.* Определен характер распределения макро- и микроэлементов в почве и растительности этих городов, построены геохимические профили распределения элементов в почвах и растительности. Показано, что значения концентрации тяжелых и токсичных металлов в исследованных образцах воды и донных отложений близки к фоновым. Оценена концентрация тяжелых и токсичных металлов в мышцах основных видов рыб; обнаружена высокая концентрация ртути в мышцах рыб-хищников ($CHg = 0,2 \div 0,3$ мкг/кг). *Выводы.* Уровни суммарного накопления тяжелых и токсичных металлов в почве Петрозаводска относятся к категории опасных ($Zc = 56$), а загрязнение почв городов Питкяранты, Сортавалы и Суоярви – умеренно опасных ($Zc = 15-31$). Обнаружена высокая степень взаимосвязи между концентрациями элементов в почве и в листьях березы. Вода в Ладожском, Онежском озере и озере Суоярви в отношении концентрации представленных в статье элементов отвечает нормативам Российской Федерации для питьевой воды.

Ключевые слова: почва, растительность, вода, донные отложения, биота, макро- и микроэлементы, ИНАА, РФА, ИСП-МС

MACRO- AND MICROELEMENTS DISTRIBUTION IN URBANIZED ECOSYSTEMS OF KARELIA

A. V. Gorbunov, S. M. Lyapunov, B. V. Ermolaev, O. I. Okina, *M. V. Frontas'eva, *S. S. Pavlov

Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow; *Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

The aim was to study the distribution of macro-and microelements in the main urban ecosystems of Karelia. *Methods.* Samples of soil, vegetation, surface water, sediments and biota (fish) were taken. In total, 300 samples were collected. The analysis of the material was carried out using epithermal instrumental neutron activation analysis (INAA), x-ray spectral analysis (XRF), and atomic absorption spectrometry (AAS) with "cold steam" and inductively coupled plasma spectrometry (ICP-MS). Concentration of 32 chemical elements in soil, birch leaves, sediments, water and biota (fish) was determined. *Results.* The distribution of macro- and microelements in soil and vegetation of these main cities of Karelia was determined. Geochemical profiles of distribution of elements in soils and vegetation were constructed. Concentration of heavy and toxic metals in the samples of water and sediments was close to the background values. High concentration of mercury in the muscles of predatory fish was found ($CHg = 0.2 \div 0.3$ mcg/kg). *Conclusions.* The levels of total accumulation of heavy and toxic metals in the soil of Petrozavodsk are classified as hazardous ($Zc = 56$), and soil pollution in Pitkyaranta, Sortavala and Suoyarvi is considered moderately dangerous ($Zc = 15-31$). A high degree of correlation between the concentration of elements in the soil and birch leaves was found. The water in lake Ladoga, lake Onega, and lake Suoyarvi in terms of the concentration of the elements presented in the article meets the Russian standards for drinking water.

Key words: soil, vegetation, water, bottom sediments, biota, macro - and microelements, ENAA, XRF, ICP-MS

Библиографическая ссылка:

Горбунов А. В., Ермолаев Б. В., Ляпунов С. М., Окина О. И., Фронтасьева М. В., Павлов С. С. Особенности распределения макро- и микроэлементов в урбанизированных средах городов Карелии // Экология человека. 2020. № 6. С. 4–14.

For citing:

Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Ermolaev B. V., Okina O. I., Frontas'eva M. V., Pavlov S. S. Macro- and Microelements Distribution in Urbanized Ecosystems of Karelia. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 8, pp. 4-14.

Считается, что Республика Карелия является одним из немногих регионов России, где природная среда находится в достаточно хорошем состоянии. Относительно небольшое количество промышленных предприятий и низкая плотность населения оказывают незначительную нагрузку на городскую и природную среду. Следует отметить, что в республике работа-

ют 143 крупных и более 3 000 малых предприятий. Основными отраслями в экономике республики являются лесозаготовительная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная промышленность и отрасли, основанные на добыче и переработке минеральных ресурсов. На их долю приходится около 10 % добываемой в России железной руды, 23 %

производимой бумаги, более 9 % целлюлозы, 4 % деловой древесины. В Карелии 175 месторождений 24 видов полезных ископаемых. Разрабатываются месторождения железной руды, титана, ванадия, молибдена, хрома, марганца, никеля. Основные промышленные центры: Петрозаводск, Кондопога, Костомукша, Медвежьегорск, Питкяранта, Олонец, Суоярви. Географическое положение и специфика ландшафта делают природу республики особенно чувствительной к техногенным нагрузкам. Очевидно, что удаленное расположение Карелии от больших промышленных центров не может гарантировать высокую защищенность природной среды от различного рода антропогенных воздействий. Это расположение лишь означает, что характер возникающих в этом случае экологических проблем будет несколько иным, чем в других регионах. Влияние на природную среду Карелии в основном связано с развитием энергоемкой лесной и металлургической промышленности, а также с холодным климатом, требующим сжигания большого количества различных теплоносителей (уголь, мазут, газ, торф).

В Республике Карелия проводится ежегодный мониторинг состояния окружающей среды. Результаты этих исследований публикуются в виде Государственных докладов. Согласно данным, приведенным в «Государственных докладах о состоянии окружающей среды Республики Карелия» [8, 9] экологические проблемы на территории республики практически отсутствуют. Тем не менее анализ существующих литературных источников показал, что, например, концентрация ртути [4, 16] в почве городов северного побережья Ладожского озера — Питкяранте и Сортавале — в 3–4 раза превышает фоновые значения. Особенно это касается Петрозаводска, где в среднем концентрация ртути в почве в 20 раз превышает фоновые значения. Кроме того, зафиксированы превышения ПДК отдельных компонентов в различных урбанизированных средах, приведены факты высокой концентрации сурьмы в почве Питкяранты, хрома и цинка в донных отложениях Онежского озера. Аналогичные проблемы с загрязнением окружающей среды возникают и на территории соседних стран — Финляндии и Норвегии [19–22], но там это преимущественно связано с транспортными потоками и газовыми выбросами. С учетом вышеизложенного изучение особенностей распределения широкого круга химических элементов — загрязнителей в основных природных средах городов Карелии — является актуальным и необходимым. Целью настоящей работы была оценка уровней концентрации и особенностей распределения макро- и микроэлементов в депонирующих и транспортирующих средах городов Карелии.

Методы

Отбор образцов

К основным транспортирующим и депонирующим природным средам относятся атмосфера, водные потки, почва, донные отложения и биота. Отбор об-

разцов этих сред проводился на территории восьми городов Карелии: Олонца, Питкяранты, Сортавалы, Суоярви, Петрозаводска, Медвежьегорска, Пиндушей и Повенца. В качестве индикаторов загрязнения атмосферного воздуха использовались листья березы повислой (*Betula pendula*). В Ладожском и Онежском озерах производился вылов рыбы: окуня, судака, щуки и леща.

Почва. В городах и поселках образцы почвы отбирались из расчета один образец на 1 км² площади города [10] (в Петрозаводске образцы отбирались на набережной и в центральной части города). Пробы отбирались пластиковым инструментом на площадке 5×5 м с глубины 5–10 см методом конверта. Объединенную пробу составляли путем смешивания пяти точечных проб, отобранных на одной площадке. Масса объединенной пробы составляла 0,8–1,0 кг [7, 10]. Пробы высушивали при комнатной температуре и ситовали до крупности зерна 1 мм. Истирания образцов не проводилось.

Растительность. Одновременно с отбором проб почвы на тех же площадках отбирали образцы растительности: листья березы с ветвей, расположенных на высоте 1,7–2,0 м от поверхности земли. Отмывания образцов не проводили. Пробы высушивали при температуре 20 °С до постоянного веса и измельчали. Масса образцов в воздушно-сухом состоянии составляла 15–20 г.

Вода, донные отложения. Отбор проб производился в Ладожском озере, Онежском озере и озере Суоярви. При отборе проб воды и донных отложений определяли степень загрязнения металлами воды в пределах территории исследуемых городов, вблизи мест с активной антропогенной деятельностью или в местах слабого водообмена: в заливах, заводях и в затонах [5, 6]. Было отобрано по 5 точек вдоль побережья каждого из озер (всего 15 проб). Расстояние между точками отбора составляло ~ 20–40 км. Координаты точек отбора даны в табл. 4. Посуду, используемую при отборе проб, обрабатывали 10 % раствором азотной кислоты, тщательно промывали водопроводной водой, нейтрализовали 2 % раствором бикарбоната натрия и 3–4 раза промывали дистиллированной водой. Перед забором проб сосуды ополаскивали не менее трех раз отбираемой водой, пробы воды объемом не менее 200 см³ отбирали в емкости из стекла. Поверхностную воду отбирали на расстоянии 2–5 м от береговой линии; там же отбирали пробы донных отложений с глубины 1,0–1,5 м. Отбор проводили в два сосуда. Для определения общей концентрации микроэлементов сразу после отбора проба воду подкисляли концентрированной азотной кислотой из расчета 3,5–4 см³ концентрированной HNO₃ на 1 дм³ пробы. При отборе проб для анализа на ртуть также проводили подкисление концентрированной HNO₃ с добавлением 5 % раствора марганцовокислого калия до розовой окраски пробы (4–5 см³ на 1 дм³ пробы).

Рыба. Отлов окуня, щуки, судака и леща проводили в Ладожском и Онежском озерах непосредственно участники данного проекта, частично недостаток рыбы восполнялся покупкой у местных рыбаков. Образцы отбирали в полиэтиленовые пакеты типа зип-лок, очищали от внешних загрязнений и промывали дистиллированной водой. Для длительной транспортировки образцы замораживали при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. При подготовке к анализу рыбу размораживали и помещали в эмалированные кюветы, после этого вырезали с левой стороны, начиная от спинного плавника до начала ребер, вдоль тела 2–4 г скелетных мышц. Весь инструмент и стеклянную посуду мыли 5–10 % азотной кислотой и ополаскивали дистиллированной водой [18].

Анализ образцов

Образцы почвы, донных отложений и растительности высушивали при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянного веса. Образцы рыбы поступали на анализ с естественным процентом влажности. Анализ микроэлементного состава отобранных образцов проводили в лаборатории Геологического института (ГИН) РАН (Москва) и Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка (ЛНФ) ОИЯИ (Дубна) с помощью эпитеплового нейтронного активационного (ИНАА), рентгеноспектрального методов (РФА), масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой (ИСП-МС) и атомной абсорбционной спектрометрии (ААС) с «холодным» паром [1].

Эпитепловой инструментальный нейтронный активационный анализ (ИНАА) проводили на исследовательском реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ. Анализ осуществлялся с помощью спектрометров на основе детекторов из сверхчистого германия большого объема фирмы «Canberra» с энергетическим разрешением 1,3 кэВ по линии 1 332 кэВ Co^{60} . Были определены концентрации Mg, Cl, Na, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Se, Br, Rb, Mo, Ag, Sb, I, Cs, La, Au, Hg и Th [12].

Рентгеноспектральный анализ проводили с использованием последовательного волнового РФА спектрометра «S4 Pioneer» Bruker AXS. Обработку полученных результатов проводили с помощью пакета программ «S4 Spectra Plus». С помощью этого метода в почвах определили концентрации Ca, Mn, Ni, Cu, Zn, Rb, Ba, Pb, Th и U.

В случаях, когда требовалось определение низких содержаний элементов в растительности, биоматериалах и воде, использовалась ИСП-МС. Масс-спектрометрия осуществлялась с помощью масс-спектрометра высокого разрешения «ELEMENT-2» (Thermo Fisher Scientific).

Концентрацию ртути определяли методом ААС с «холодным» паром в лаборатории ГИН РАН. Контроль качества результатов анализа проводили с помощью анализа «холостых» проб, стандартных и контрольных образцов биологических материалов, аттестованных на содержание ртути. Предел определения концентрации ртути в образцах почвы, растительности, донных отложений и рыбы составлял

0,1 мкг/кг (ppb), для образцов воды — соответственно 0,01 мкг/л (ppb).

Математическая обработка

Коэффициент концентрации (K_c) рассчитывался по формуле:

$$K_c = C_i / C_{\text{фон}},$$

где C_i — фактическое содержание элемента; $C_{\text{фон}}$ — фоновое содержание элемента (заповедник «Кивач»).

Расчет суммарного коэффициента загрязнения почвы (Z_c) [10, 13] проводился по формуле:

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_c \right) - (n - 1),$$

где K_c — коэффициент концентрации i -го химического элемента, n — число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию (в нашем случае $n = 15$).

Результаты

В табл. 1 приведены данные о кислотности почвы, концентрации макро- и микроэлементов в восьми городах Карелии. Кислотность почв в городах республики изменяется от кислой ($\text{pH} = 3,9$) до нейтральной или щелочной ($\text{pH} = 6,7-7,2$); средние значения кислотности в основном можно считать нейтральными ($\text{pH} = 5,5-6,1$), поэтому значения ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) взяты для суглинистых и глинистых почв с $\text{pH KCl} > 5,5$ [2, 3, 10].

Превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) и ОДК тяжелых и токсичных металлов в почве вышеперечисленных городов Карелии не обнаружено. Сравнение приведенных в табл. 1 данных с аналогичными фоновыми (заповедник «Кивач») показало превышение, иногда значительное, концентрации отдельных элементов фоновыми концентрациями. В Олонце можно отметить повышенную концентрацию As, W и Pb; в Пижоре — Cu, Zn, As, Sb, Ta, W, Hg, Pb; в Сортавале — Cu, Zn, As, Sb, W, Hg, Pb; в Суоярви — As, Sb, Hg, Pb. Наиболее загрязненной оказалась почва Петрозаводска, где зафиксированы повышенные концентрации Ni, Cu, Zn, As, Br, Sb, W, Hg, и Pb. Наиболее «чистыми» оказались почвы Медвежьегорска, Пиндушей и Повенца.

В табл. 2 приведены данные о концентрации элементов в листьях березы (*Betula pendula*) в восьми городах Карелии. Сравнение с фоновыми концентрациями (заповедник Кивач) показало, что в некоторых случаях имеется значительное превышение над фоном концентраций таких элементов, как Zn, Sb, W, Hg, и Pb в Питкяранте, Сортавале и Петрозаводске. Поскольку прямое сравнение концентраций элементов в почве и растительности представляется малопродуктивным, были рассчитаны коэффициенты концентрации (K_c) для 28 элементов.

Обсуждение результатов

На основании расчетов по приведенной выше формуле были построены биогеохимические профили

Таблица 1

Концентрация макро- и микроэлементов в почве городов Карелии Сср (Мин.–Макс.), мг/кг (ppm), воздушно-сухой вес

Элемент	Олонец n=5	Питкяранта n=5	Сортавала n=7	Суоярви n=5	Зап. «Кивач» n=5	ПДК [2, 7] (ОДК) [3, 10]
pH	6,1(5,8–6,3)	5,5(5,0–6,7)	5,5(4,8–6,6)	6,1(3,1–7,2)	4,7(4,3–5,5)	
Na, %	1,73(1,58–1,82)	1,67(1,25–1,85)	1,69(1,58–1,81)	1,96(1,28–2,39)	1,93(1,81–2,02)	
Mg, %	0,50(0,32–0,82)	0,76(0,33–1,29)	0,96(0,61–1,25)	0,48(0,17–1,01)	0,56(0,35–0,65)	
Al, %	4,69(4,12–5,09)	4,57(4,08–4,97)	5,05(4,22–5,65)	4,79(2,95–5,68)	4,65(4,39–4,77)	
Cl	119(100–136)	125(105–163)	154(119–217)	207(105–454)	110(101–122)	
K, %	1,33(1,21–4,52)	1,31(0,96–1,71)	1,27(1,12–1,14)	1,16(0,81–1,51)	1,27(1,11–1,35)	
Ca, %	0,98(0,81–1,13)	1,15(0,98–1,45)	1,42(1,22–1,66)	1,39(0,90–1,71)	1,25(1,15–1,36)	
Sc	6,84(4,5–11)	8,38(4,5–14)	9,76(5,8–12,8)	5,64(4,31–7,22)	6,2(5,93–6,45)	
Ti, %	0,24(0,11–0,36)	0,26(0,17–0,33)	0,34(0,29–0,37)	0,16(0,11–0,19)	0,22(0,15–0,28)	
V	47(26,6–74)	69(32–119)	83(53–98)	44(38–52)	64(54–69)	150
Cr	41,1(18,4–71)	56(21,3–105)	64(32–76)	38(23–48)	30(22–38)	(100)*
Mn	278(181–384)	424(203–690)	500(418–581)	673(123–1440)	324(285–356)	1500
Fe, %	1,71(1,11–2,62)	2,34(1,08–3,95)	2,62(1,53–3,33)	1,69(1,07–2,79)	1,77(1,71–1,82)	
Co	6,19(3,35–10,7)	7,67(3,54–12)	10,7(5,8–14,4)	4,96(2,51–8,1)	5,8(5,3–6,2)	5, П.Ф. (72)*
Ni	18,1(6,2–27,3)	22,8(10,1–39)	30(17–37)	13,1(4,99–17,4)	12,8(11,9–13,4)	(80)*
Cu	19(7,39–33)	53(21,8–101)	32(20,6–41)	24(6,19–36)	9,8(9,3–10,6)	3, П.Ф. (132)*
Zn	54(22–85)	299(64–584)	121(76–215)	63(12,8–127)	40(32–45)	20, П.Ф. (220)*
As	2,0(1,3–3,1)	3,51(1,78–5,6)	3,05(2,46–4,1)	2,89(0,88–5,1)	1,4(0,73–1,88)	2 (10)*
Br	2,7(2,2–3,1)	4,14(2,33–6,8)	5,55(2,91–8,3)	6,21(2,84–12,4)	2,04(1,56–2,77)	
Rb	73,8(66–91)	112(72–139)	80(72–89)	54(37–84)	46(39–52)	
Sr	220(206–235)	170(113–234)	219(192–237)	275(193–320)	221(205–236)	
Zr	164(103–233)	183(128–214)	171(132–246)	171(126–238)	165(131–198)	
Sb	0,25(0,08–0,56)	0,39(0,15–0,9)	0,45(0,18–0,74)	0,47(0,13–0,73)	0,11(0,09–0,13)	4,5
Cs	1,5(0,88–2,6)	2,67(1,45–4,4)	2,22(1,65–2,63)	1,3(0,85–2,5)	0,81(0,73–1,01)	
Ba	628(572–658)	499(347–628)	720(623–869)	556(430–738)	387(333–410)	
La	20,9(15,5–29,5)	24(15,8–32)	24,8(12,2–31,5)	15,2(7,8–24)	6,2(5,2–8,1)	
Ce	39,1(28–56)	48,3(35–65)	45(21,7–57)	33(16,6–51)	13,4(11–15,5)	
Hf	4,04(2,7–5,2)	5,02(3,5–5,8)	4,0(3,15–5,7)	4,42(3,05–7,8)	3,9(3,11–4,2)	
Ta	0,67(0,45–0,93)	1,17(0,86–1,4)	0,64(0,36–1,04)	0,46(0,29–0,85)	0,24(0,18–0,31)	
W	1,82(0,44–6,3)	5,89(1,28–19,2)	1,04(0,74–1,7)	0,85(0,34–1,25)	0,29(0,21–0,32)	
Hg, ppb	37(27–57)	81(41–180)	99(31–147)	89(52–175)	0,025(0,021–0,029)	2100
Pb	29(7,81–93)	48(17,4–122)	31(13–50)	32,8(18,4–69)	9,9(9–12,2)	32(130)*
Th	5,88(3,8–9,5)	11,1(7,6–14,4)	7,97(4,75–9,6)	4,69(2,25–10)	1,84(1,11–2,12)	
U	1,27(0,74–1,8)	3,19(2,1–4,3)	2,14(1,11–2,8)	1,48(0,62–3,72)	0,65(0,58–0,71)	
Элемент	Петрозаводск n=9	Медвежьегорск n=7	Пиндуши n=5	Повенец n=5	Зап. «Кивач» n=5	ПДК [2, 7] (ОДК) [3, 10]
pH	5,8(4,9–5,9)	5,5(4,8–6,2)	6,05(5,8–6,4)	5,6(4,9–6,5)	4,7(4,3–5,5)	
Na, %	1,14(0,59–1,57)	2,15(1,85–247)	2,41(2,29–2,46)	2,26(2,07–2,54)	1,93(1,81–2,02)	
Mg, %	0,52(0,26–0,82)	0,51(0,39–0,65)	0,44(0,39–0,49)	0,77(0,51–1,37)	0,56(0,35–0,65)	
Al, %	3,43(1,83–4,32)	5,18(5,08–5,31)	5,24(5,03–5,38)	5,44(5,21–6,07)	4,65(4,39–4,77)	
Cl	166(120–207)	158(119–192)	105(95–119)	127(105–150)	110(101–122)	
K, %	1,03(0,47–1,52)	1,47(1,19–1,73)	1,61(1,47–1,83)	1,29(1,14–1,43)	1,27(1,11–1,35)	
Ca, %	1,10(0,55–1,40)	1,36(1,08–1,69)	1,38(1,31–1,48)	1,69(1,46–2,09)	1,25(1,15–1,36)	
Sc	5,98(3,22–8,4)	5,23(3,81–7,93)	4,23(377–4,72)	5,87(4,51–8,2)	6,2(5,93–6,45)	
Ti, %	0,21(0,096–0,29)	0,16(0,13–0,21)	0,13(0,11–0,14)	0,17(0,15–0,18)	0,22(0,15–0,28)	
V	59(34–78)	39,5(25,5–57)	28,7(23,5–30,6)	38(35–47)	64(54–69)	150
Cr	42,8(29,3–62)	32,2(16,1–65)	27,6(21,7–39)	47(25–73)	30(22–38)	(100)*
Mn	415(107–684)	225(120–318)	199(182–230)	271(233–340)	324(285–356)	1500
Fe, %	2,44(1,23–3,76)	1,43(0,78–2,29)	1,12(1,01–1,24)	1,43(1,09–1,74)	1,77(1,71–1,82)	
Co	6,82(2,75–10,2)	4,56(2,24–8,3)	3,55(3,32–3,94)	4,93(3,84–7,11)	5,8(5,3–6,2)	5, П.Ф. (72)*
Ni	21,8(10,7–34)	12,2(6,53–26,7)	8,15(7,51–9,62)	10,2(7,73–12,8)	12,8(11,9–13,4)	(80)*
Cu	49(13,1–75)	10,7(3,79–27,8)	6,79(4,99–8,58)	23,3(11,2–42)	9,8(9,3–10,6)	3, П.Ф. (132)*
Zn	142(57–295)	42,6(9,8–82)	34(21–50)	38,6(19,7–89)	40(32–45)	20, П.Ф. (220)*
As	7,28(3,54–21)	2,81(0,58–7,5)	1,46(0,61–3,51)	1,16(0,92–1,53)	1,4(0,73–1,88)	2 (10)*
Br	10,3(5,4–24)	3,08(2,16–4,12)	2,46(1,98–3,04)	2,65(1,95–3,75)	2,04(1,56–2,77)	
Rb	48(17,7–71)	61(48–95)	68(57–91)	43,6(39,5–50)	46(39–52)	

Продолжение таблицы 1

Элемент	Петрозаводск n=9	Медвежьегорск n=7	Пиндуши n=5	Повенец n=5	Зап. «Кивач» n=5	ПДК [2, 7] (ОДК) [3, 10]
Sr	151(82–190)	233(200–265)	231(213–246)	2,37(210–266)	221(205–236)	
Zr	106(47–180)	131(84–184)	129(100–148)	208(96–420)	165(131–198)	
Sb	1,54(0,26–4,3)	0,38(,14–0,94)	0,17(0,04–0,32)	0,38(0,12–1,14)	0,11(0,09–0,13)	4,5
Cs	1,24(0,41–2,1)	1,15(0,72–1,66)	0,92(0,75–1,33)	0,63(0,49–0,74)	0,81(0,73–1,01)	
Ba	449(279–559)	859(349–1160)	1033(867–1180)	841(671–948)	387(333–410)	
La	12,5(4,41–22)	13,8(4,95–21,3)	14,1(12,3–16,1)	12,8(8,13–15,5)	6,2(5,2–8,1)	
Ce	25,8(10,2–45)	28,8(9,75–46)	29,5(23,3–32)	26,1(17,2–34,3)	13,4(11–15,5)	
Hf	2,47(1,22–4,15)	3,28(2,44–4,53)	3,15(2,56–3,85)	4,69(2,33–9,1)	3,9(3,11–4,2)	
Ta	0,34(0,12–0,62)	0,54(0,28–0,84)	0,32(0,26–0,44)	0,22(0,21–0,24)	0,24(0,18–0,31)	
W	2,33(0,71–4,61)	0,48(0,14–0,83)	0,36(0,15–0,74)	0,41(0,27–0,53)	0,29(0,21–0,32)	
Hg, ppb	489(97–1074)	98(27–286)	21,4(15,6–29,8)	61(16,8–107)	0,025(0,021–0,029)	2100
Pb	74(25–125)	13,1(7,81–18,4)	9,14(7,81–12,1)	14,7(9,94–17,4)	9,9(9–12,2)	32(130)*
Th	4,36(1,57–5,66)	5,73(1,78–9,81)	4,99(2,73–7,2)	3,91(2,07–6,51)	1,84(1,11–2,12)	
U	1,27(0,82–2,07)	1,44(0,62–2,84)	1,44(0,94–1,64)	0,85(0,78–0,92)	0,65(0,58–0,71)	

Примечания: П. Ф. – подвижные формы; * – ОДК для суглинистых и глинистых почв с рН КСl >5,5.

Таблица 2

Концентрация макро- и микроэлементов в растительности городов Карелии
Ср (Мин.–Макс.), мг/кг (ppm), воздушно-сухой вес

Элемент	Олонец n=5	Питкяранта n=5	Сортавала n=7	Суоярви n=6	Зап. «Кивач» n=5
Na	77(42–118)	359(158–547)	198(66–373)	73(39–104)	79(45–93)
Mg	3170(2546–3770)	2505(1627–3805)	2900(2329–3435)	3562(2885–4670)	2911(2105–3387)
Al	197(73–393)	612(209–946)	437(126–912)	186(91–311)	220(174–303)
Cl	223(110–296)	205(106–271)	556(192–1420)	201(91–316)	200(98–287)
K, %	1,11(0,86–1,33)	1,27(0,98–1,55)	1,07(1,03–1,17)	1,29(1,15–1,38)	1,31(1,02–1,44)
Ca, %	1,18(0,93–1,53)	1,03(0,75–1,28)	1,24(1,11–1,37)	1,37(1,24–1,63)	1,33(1,11–1,47)
Sc	0,036(0,009–0,078)	0,11(0,05–0,19)	0,082(0,022–0,18)	0,025(0,008–0,038)	0,042(0,033–0,048)
V	0,36(0,26–0,46)	1,64(1,03–2,21)	0,93(0,59–1,24)	0,24(0,07–0,38)	0,29(0,22–0,34)
Cr	0,91(0,62–1,22)	3,25(1,95–6,5)	3,51(0,87–7,22)	1,43(1,01–1,88)	0,74(0,61–0,78)
Mn	398(66–765)	434(106–1030)	296(87–738)	292(179–481)	438(385–491)
Fe	160(78–273)	420(204–685)	363(127–640)	163(85–222)	159(111–198)
Co	0,27(0,14–0,38)	0,55(0,21–1,01)	0,71(0,27–2,02)	0,31(0,09–0,74)	0,35(0,28–0,44)
Ni	2,61(1,73–3,77)	5,13(1,94–11)	5,16(2,25–7,63)	1,88(1,15–2,45)	3,49(3,02–3,66)
Cu	10(8,3–12)	21(16–25)	22(15–25)	12(7,2–18)	11(6,5–15)
Zn	271(169–421)	502(244–766)	276(170–372)	335(187–450)	273(222–301)
As	0,27(0,21–0,36)	0,74(0,58–0,87)	0,44(0,37–0,51)	0,41(0,32–0,52)	0,48(0,41–0,55)
Br	1,77(1,65–2,05)	2,71(1,92–3,35)	1,67(1,43–1,86)	2,63(2,21–2,94)	2,16(1,88–2,35)
Rb	5,64(2,54–9,7)	16,4(10,5–23)	9,62(2,64–24,2)	27,2(17,8–47)	9,2(8,1–13,2)
Sr	55(39–96)	32(27–39)	50(42–59)	76(44–145)	63(48–99)
Sb	0,023(0,005–0,046)	0,034(0,022–0,047)	0,046(0,016–0,072)	0,021(0,012–0,032)	0,036(0,021–0,045)
Cs	0,014(0,008–0,025)	0,066(0,047–0,11)	0,031(0,016–0,089)	0,045(0,014–0,13)	0,014(0,008–0,021)
Ba	85(48–110)	92(42–171)	119(41–197)	77(52–107)	94(78–105)
La	0,16(0,07–0,24)	0,65(0,27–1,11)	0,29(0,11–0,54)	0,12(0,10–0,14)	0,16(0,12–0,22)
Ce	0,44(0,38–0,51)	1,48(0,62–2,45)	0,69(0,26–1,33)	0,25(0,21–0,33)	0,42(0,32–0,48)
Hf, ppb	41(40–42)	91(27–163)	59(17–102)	24(21–31)	44(36–49)
Ta, ppb	60(21–87)	47(12–76)	60(28–110)	27(16–47)	50(33–69)
W, ppb	26(14–52)	73(29–17)	93(48–210)	16(11–29)	30(12–45)
Hg, ppb	23(16–37)	20(15–20)	18(12–22)	19(12–27)	12(9,2–15)
Pb	0,03(0,01–0,04)	0,06(0,04–0,09)	0,05(0,03–0,08)	0,03(0,01–0,05)	0,02(0,01–0,03)
Th, ppb	32(18–62)	320(120–521)	155(63–192)	33(15–55)	22(14–35)
U, ppb	8(2–17)	103(33–160)	35(19–64)	42(11–130)	5(4–8)
Элемент	Петрозаводск n=9	Медвежьегорск n=8	Пиндуши n=5	Повенец n=5	Зап. «Кивач» n=5
Na	76(52–96)	94(37–157)	98(62–139)	72(43–136)	79(45–93)
Mg	4360(2551–10500)	2940(1778–3626)	1982(1700–2484)	3033(2562–3391)	2911(2105–3387)
Al	293(148–525)	378(149–922)	283(163–455)	148(62–292)	220(174–303)
Cl	282(208–364)	258(112–461)	180(140–224)	295(125–488)	200(98–287)

Продолжение таблицы 2

Элемент	Петрозаводск n=9	Медвежьегорск n=8	Пиндуши n=5	Повенец n=5	Зап. «Кивач» n=5
K, %	1,11(0,87–1,36)	1,11(0,95–1,33)	0,92(0,77–1,05)	0,77(0,67–1,04)	1,31(1,02–1,44)
Ca, %	1,39(0,92–2,64)	1,22(1,04–1,44)	0,94(0,78–1,08)	0,98(0,58–1,45)	1,33(1,11–1,47)
Sc	0,065(0,043–0,078)	0,045(0,037–0,056)	0,031(0,02–0,044)	0,028(0,015–0,046)	0,042(0,033–0,048)
V	0,92(0,61–1,33)	0,53(0,095–1,42)	0,34(0,24–0,54)	0,24(0,09–0,44)	0,29(0,22–0,34)
Cr	1,47(1,14–1,89)	2,33(0,86–4,31)	0,91(0,66–1,11)	1,22(0,98–1,56)	0,74(0,61–0,78)
Mn	834(113–3390)	508(350–1100)	174(80–344)	361(137–533)	438(385–491)
Fe	320(260–400)	222(156–318)	145(98–199)	114(64–189)	159(111–198)
Co	0,31(0,16–0,82)	0,44(0,28–1,13)	0,14(0,08–0,19)	0,17(0,05–0,34)	0,35(0,28–0,44)
Ni	2,71(1,42–3,65)	3,31(1,46–5,32)	1,54(1,28–2,21)	2,34(1,85–2,91)	3,49(3,02–3,66)
Cu	18(10–24)	18(12–28)	12(7,5–16)	10(6,3–15)	11(6,5–15)
Zn	350(251–525)	512(323–648)	276(213–410)	286(201–380)	273(222–301)
As	0,37(0,26–0,55)	0,29(0,21–0,38)	0,15(0,09–0,31)	0,17(0,12–0,23)	0,48(0,41–0,55)
Br	1,76(1,52–2,33)	1,83(1,36–2,34)	1,55(1,15–2,35)	1,48(1,12–1,78)	2,16(1,88–2,35)
Rb	10,7(5,91–22)	25,5(17,5–41)	22,2(10,5–33)	12,2(9,81–15,4)	9,2(8,1–13,2)
Sr	31(21–40)	45,2(41–49)	36(24,3–57)	32(13,8–47)	63(48–99)
Sb	0,051(0,039–0,77)	0,022(0,010–0,038)	0,016(0,01–0,025)	0,014(0,009–0,019)	0,036(0,021–0,045)
Cs	0,012(0,01–0,015)	0,086(0,043–0,18)	0,063(0,024–0,11)	0,023(0,011–0,039)	0,014(0,008–0,021)
Ba	97(19–184)	68(39–91)	103(63–165)	100(66–152)	94(78–105)
La	0,11(0,064–0,13)	0,21(0,09–0,32)	0,21(0,15–0,27)	0,16(0,11–0,18)	0,16(0,12–0,22)
Ce	0,26(0,18–0,37)	0,48(0,71–0,65)	0,51(0,35–0,65)	0,32(0,28–0,38)	0,42(0,32–0,48)
Hf,ppb	29(23–37)	35(32–38)	29(21–39)	24(18–35)	44(36–49)
Ta,ppb	12(10–19)	11(8–13)	8(6–11)	4(2–7)	50(33–69)
W,ppb	50(30–60)	49(13–110)	28(12–41)	23(15–34)	30(12–45)
Hg,ppb	13(11–16)	20(14–29)	16(12–18)	11(9–13)	12(9,2–15)
Pb	0,05(0,02–0,08)	0,03(0,01–0,05)	0,02(0,01–0,05)	0,02(0,01–0,05)	0,02(0,01–0,03)
Th,ppb	19(15–22)	83(42–13)	84(57–14)	35(11–73)	22(14–35)
U,ppb	10(9–36)	31(15–45)	24(17–37)	16(10–23)	5(4–8)

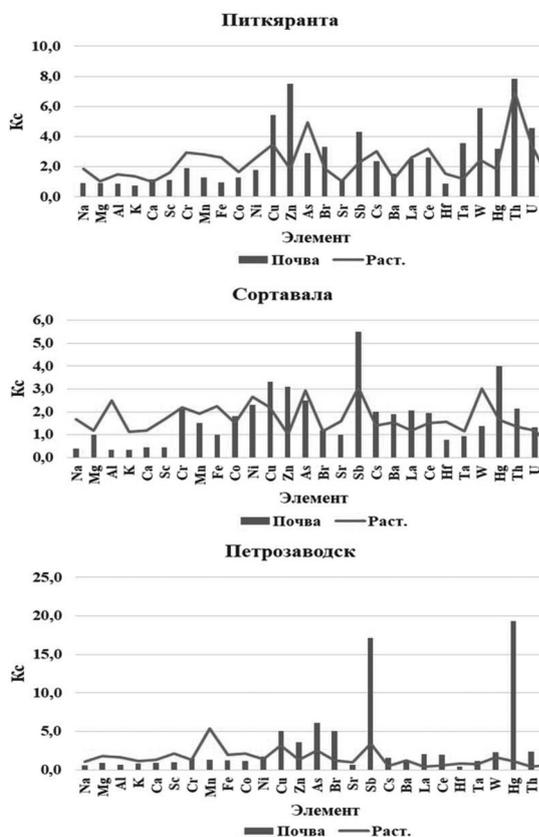


Рис. 1. Распределение элементов в почве и растительности городов Питкяранта, Sortавала и Петрозаводск

распределения элементов в почве и растительности городов Питкяранта, Sortавала и Петрозаводск (рис. 1).

Анализ приведенных на рис. 1 графиков показал, что для почвы Питкяранты характерно загрязнение ($K_c = 5-7,5$) Cu, Zn, Sb, W, Th, и Pb; для Sortавалы характерно загрязнение почвы Cu, Zn, Sb, Hg ($K_c = 3-5$); почва Петрозаводска загрязнена Cu, As, Br, Sb, Hg и Pb ($K_c = 5-19$). Уровень загрязнения листьев березы значительно ниже (в 2-4 раза), чем почвы, но перечень загрязняющих элементов в основном повторяет почвенное загрязнение. Коэффициенты корреляции между концентрациями элементов в почве и в листьях березы для Питкяранты составляли $r = 0,904$, $p < 0,001$, для Sortавалы $r = 0,955$, $p < 0,001$, для Петрозаводска $r = 0,628$, $p < 0,001$. Таким образом, показана большая степень этой зависимости (расчет проводили с помощью программы MINITAB-16). Кроме значений предельно допустимой концентрации (ПДК) для Российской Федерации нормируется значение так называемого суммарного коэффициента загрязнения почвы (Z_c) по основным токсичным элементам [10, 13]. Так как токсичные элементы делятся на три класса опасности: 1-й класс – чрезвычайно опасные, к ним относятся Zn, As, Se, Cd, Hg и Pb; 2-й класс – высоко опасные: Co, Ni, Cr, Cu, Sb и Mo; 3-й класс – умеренно опасные: Ba, V, W, Mn, и Sr, то расчет Z_c проведен с учетом

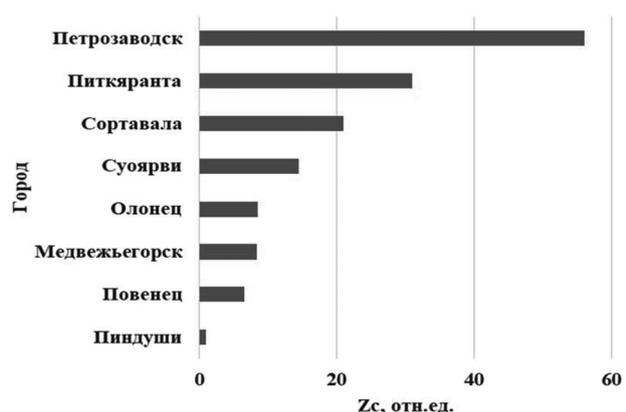


Рис. 2. Распределение суммарного коэффициента почвы (Zc) в городах Карелии

коэффициента концентрации (K_c) пятнадцати элементов, относящихся к этим группам опасности: Mo, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Sb, Ba, W, Hg и Pb.

Результаты этих расчетов подтверждают, что наиболее высокие концентрации токсичных элементов по сравнению с фоновыми выявлены в почвах городов Питкяранта, Петрозаводск и Сортавала (рис. 2). В табл. 3 приведена классификация почв по степени опасности в зависимости от значения Z_c [10]. В соответствии с этой классификацией загрязнение почв

городов Олонца, Медвежьегорска, Повенец и Пиндушей находится в пределах допустимого, загрязнение почв Петрозаводска классифицируется как опасное (Z_c = 56), Питкяранты, Сортавалы и Суоярви – как умеренно опасное (Z_c = 15–31).

Таблица 3

Категория	Величина Z _c
Допустимая	Менее 16
Умеренно опасная	16–32
Опасная	32–128
Чрезвычайно опасная	Более 128

Все восемь городов (за исключением Олонца), в которых проводилось исследование, расположены на берегах трех озер: Ладожского, Суоярви и Онежского, соответственно снабжение городов питьевой водой производится также из этих озер. В табл. 4 показаны уровень кислотности и концентрация микроэлементов в воде этих трех озер, а также значения ПДК микроэлементов в питьевой воде. Анализируя эти данные, можно сделать вывод о том, что вода в Ладожском, Онежском озерах и озере Суоярви по концентрации микроэлементов соответствует нормативам, принятым в РФ для питьевой воды [5, 14].

Таблица 4

	Ладожское озеро n=5	Озеро Суоярви n=5	Онежское озеро n=5	ПДК [14]
Коорд. точек отбора проб С.Ш./В.Д.	61.14215/32.47045	62.22967/32.30377	61.79817/34.37320	–
	61.49062/31.60484	62.10594/32.33424	62.56895/35.11337	–
	61.57126/31.45035	62.00991/32.36612	62.89031/34.45693	–
	61.69837/30.69018	62.11126/32.36990	62.89282/34.55032	–
	61.68171/30.71310	62.17124/32.41539	62.82758/34.82777	–
pH отн. ед.	6,67(5,01–7,89)	7,78(7,68–7,89)	7,35(6,33–7,91)	–
Li	1,01(0,75–1,18)	0,33(0,31–0,35)	0,81(0,58–1,13)	30
Cr	0,36(0,22–0,51)	0,37(0,32–0,40)	0,32(0,21–0,53)	50
Mn	22,3(6,97–35,4)	40(38–42)	49(22,5–84)	100
Co	0,11(0,04–0,18)	0,16(0,15–0,17)	0,11(0,031–0,24)	100
Ni	0,97(0,72–1,33)	0,46(0,39–0,57)	1,26(0,72–1,63)	100
Cu	1,36(0,85–1,7)	2,25(1,97–2,58)	2,12(1,55–3,51)	1000
Zn	5,12(4,36–6,6)	7,28(6,12–8,66)	10,1(6,53–16,1)	5000
As	0,75(0,61–0,87)	0,84(0,46–1,43)	0,43(0,23–0,52)	50
Br	12,07(8,62–14)	7,19(6,97–7,33)	11,2(9,9–13,9)	–
Rb	1,52(1,28–2,0)	0,91(0,87–0,96)	1,56(0,98–2,12)	100
Sr	38,40(11–53)	16,8(15,3–19,1)	34,4(21–61)	7000
Mo	0,14(0,08–0,25)	0,039(0,034–0,045)	0,23(0,069–0,61)	250
Cd	0,05(0,02–0,08)	0,057(0,047–0,065)	0,039(0,025–0,051)	1
Sn	0,08(0,07–0,09)	0,18(0,14–0,24)	0,16(0,14–0,16)	–
Sb	0,13(0,07–0,18)	0,44(0,22–1,01)	2,48(0,97–3,58)	50
Cs	0,03(0,02–0,04)	0,021(0,01–0,032)	<0,01	–
La	0,28(0,22–0,37)	0,66(0,48–0,99)	1,67(0,063–0,25)	–
Ce	0,46(0,38–0,59)	1,11(1,02–0,21)	0,29(0,097–0,49)	–
Hg	0,035(0,016–0,056)	0,064(0,039–0,088)	0,028(0,017–0,039)	0,5
Pb	0,44(0,25–0,62)	1,36(0,81–1,87)	0,51(0,23–0,93)	30
Th	0,05(0,03–0,09)	0,012(0,01–0,014)	0,13(0,11–0,14)	–
U	0,11(0,08–0,14)	0,046(0,035–0,063)	0,15(0,075–0,21)	–

Таблица 5

Концентрация макро- и микроэлементов в донных отложениях трех озер Карелии
Ср. (Ммин.–Ммакс.) мг/кг (ppm), воздушно-сухой вес

Элемент	Ладожское озеро	Озеро Суоярви	Онежское озеро	Норматив [9]
	n=5	n=5	n=5	
Na, %	2,05(1,94–2,17)	2,25(2,06–2,41)	1,88(1,65–2,17)	–
Mg	3670(2270–5754)	2305(1369–3859)	5760(2115–7287)	–
Al, %	4,83(4,64–5,10)	4,73(4,61–4,85)	4,78(4,21–5,32)	–
S	179(134–225)	<100	938(250–2014)	–
Cl	68(39–95)	98(65–128)	111(47–245)	–
K, %	1,72(1,42–2,02)	1,31(1,11–1,52)	1,27(1,05–1,65)	–
Ca, %	0,96(0,81–1,09)	1,01(0,72–1,29)	1,53(0,88–2,29)	–
Sc	4,71(1,82–8,4)	4,53(1,46–5,91)	5,21(2,46–7,11)	–
Ti	1300(682–1800)	1449(561–2440)	1676(765–2720)	–
V	28,3(17,6–43)	25,1(15,1–37)	32,2(14,5–42)	–
Cr	22,3(8,79–44)	20,9(13,4–26,6)	78(19,5–229)	100*–380**–380***
Mn	208(156–246)	212(92–378)	288(126–446)	–
Fe, %	1,14(0,72–1,87)	0,93(0,55–1,42)	1,50(0,72–2,06)	–
Co	3,94(1,81–7,42)	2,32(0,94–3,51)	6,28(2,55–11)	–
Ni	8,46(4,2–15,3)	5,05(2,46–7,11)	19,4(7,25–46)	35–35–210
Cu	5,52(4,32–6,81)	7,73(2,11–15)	58(14,2–107)	35–35–190
Zn	25,3(22,6–29,5)	32,6(15,5–82)	744(145–1810)	140–480–720
As	1,79(0,56–3,85)	0,53(0,43–0,66)	1,18(0,62–2,21)	29–55–55
Br	1,45(1,13–1,74)	2,01(1,55–2,42)	2,64(2,11–3,26)	–
Rb	90(66–102)	45,5(38–51)	47(38–59)	–
Sr	181(159–209)	287(264–310)	246(224–306)	–
Zr	156(65–293)	157(55–258)	121(72–207)	–
Sb	0,061(0,024–0,11)	0,05(0,043–0,064)	1,23(0,45–4,6)	–
Cs	1,38(0,96–2,22)	0,54(0,39–0,63)	0,61(0,53–0,72)	–
Ba	471(365–529)	670(529–875)	1050(512–2530)	–
La	10,9(9,21–13,2)	7,83(3,14–13,8)	9,42(8,2–12,4)	–
Ce	21(19,5–26)	15,4(6,8–26,6)	19,1(14,5–27)	–
Hf	3,98(1,26–7,61)	3,67(1,59–5,92)	2,83(1,87–4,55)	–
Ta	0,45(0,34–0,62)	0,33(0,11–0,73)	0,26(0,094–0,41)	–
W	0,85(0,46–1,13)	1,21(0,48–1,62)	4,12(1,15–7,32)	–
Hg ppb	22,1(12,4–32)	18,2(16–19)	35,8(6,2–59)	300–500–10000
Pb	19(13,1–28,1)	21,5(7,66–43,6)	174(19,1–362)	85–530–530
Th	3,61(2,33–4,32)	1,56(0,98–2,37)	2,55(1,97–3,11)	–
U	0,91(0,62–1,12)	0,56(0,35–0,77)	0,73(0,53–1,04)	–

Примечание. * – целевой уровень (фон); ** – предельно возможный уровень; *** – уровень, требующий вмешательства.

Донные осадки являются депонирующей средой, и их химический состав отражает долговременные закономерности. Эта система образована нанесением и отложением на дно водоемов разных веществ в итоге физических, химических и биологических процессов. Оценка загрязнения донных отложений существенно затруднена тем, что для донных осадков отсутствует понятие «предельно допустимые концентрации», что связано с санитарно-токсикологической сущностью данного показателя. В настоящее время существует только один региональный норматив, который вводит такие понятия, как «целевой уровень» концентрации (аналог-фон), «предельно возможный» уровень (аналог ПДК) и уровень «требующий вмешательства» [11]. В табл. 5 приведены данные о концентрации химических элементов в донных отложениях Ладожского, Онежского озер и озера Суоярви. В качестве объекта для сравнения использованы данные по почве, отобранной в запо-

веднике «Кивач», а также нормативы, приведенные в работе [11].

К числу приоритетных загрязняющих веществ донных отложений относятся тяжелые металлы. В отличие от органических загрязняющих веществ, подвергающихся процессам разложения, металлы способны лишь к перераспределению между отдельными компонентами водных систем, они существуют в разных формах и различных степенях окисления. Анализируя данные, приведенные в табл. 5, можно отметить, что концентрация химических элементов в донных отложениях в основном находится в пределах «фоновых» значений. Наиболее загрязненными оказались донные отложения Онежского озера: для них характерно повышенное содержание S, Cr, Cu, Zn, Sb, Ba, W и Pb. Являясь составной частью грунтов, металлы попадают в организмы бентосов, а далее рыб, и в особенности хищных как вершины водной трофической цепочки. В табл. 6 приведены данные

Таблица 6

Концентрация микроэлементов в мышцах рыб Ладожского и Онежского озер («живой вес»), Спр. (Смин.–Смакс.), мг/кг (ppm)

Ладожское озеро				
Объект	Щука, n=6	Судак, n=5	Окунь, n=9	ПДК [15]
Элемент/Масса, г	662(240–2100)	1100(560–1660)	205(120–360)	
Cr	0,07(0,05–0,09)	0,049(0,047–0,055)	0,055(0,039–0,069)	1
Mn	0,29(0,14–0,41)	0,86(0,51–1,21)	0,45(0,35–0,57)	–
Fe	2,47(1,61–4,65)	4,45(1,64–7,25)	5,51(4,48–6,2)	–
Co	0,004(0,003–0,01)	0,008(0,003–0,012)	0,006(0,003–0,009)	–
Ni	0,04(0,03–0,06)	0,051(0,034–0,067)	0,046(0,038–0,06)	–
Cu	0,36(0,26–0,56)	0,42(0,29–0,55)	0,41(0,33–0,51)	10
Zn	11,1(6,50–17,75)	6,27(5,55–6,98)	8,34(6,91–9,81)	40
As	0,06(0,04–0,10)	0,065(0,062–0,068)	0,036(0,028–0,046)	1
Se	0,16(0,13–0,21)	0,23(0,21–0,24)	0,25(0,23–0,29)	–
Br	2,24(1,15–3,32)	1,93(1,54–2,33)	2,11(1,95–2,22)	–
Rb	10,43(9,06–11,93)	7,82(2,86–12,8)	11,3(9,5–13,1)	–
Mo	0,02(0,01–0,02)	0,02(0,01–0,03)	0,02(0,01–0,03)	–
Sr	3,18(1,44–7,67)	3,24(1,3–5,18)	1,48(1,11–2,02)	–
Cd	0,01(0,00–0,01)	0,007(0,005–0,011)	0,008(0,005–0,011)	0
Sn	<0,005	<0,005	0,012(0,009–0,018)	–
Cs	0,04(0,02–0,05)	0,024(0,006–0,043)	0,022(0,011–0,029)	
Hg	0,33(0,23–0,49)	0,197(0,06–0,334)	0,23(0,12–0,31)	0,3–0,6
Pb	<0,05	0,099(0,058–0,14)	0,067(0,043–0,085)	1
Онежское озеро				
Объект	Щука, n=8	Судак, n=5	Окунь, n=10	ПДК [15]
Эл–т/Масса, г	410(230–960)	425(360–673)	155(82–332)	
Cr	0,086(0,068–0,096)	0,061(0,045–0,072)	0,055(0,042–0,065)	1
Mn	0,31(0,14–0,63)	0,330(0,21–0,33)	0,44(0,22–0,55)	–
Fe	3,02(1,73–5,6)	4,167(3,2–5,5)	4,58(3,84–5,42)	–
Co	0,004(0,003–0,008)	0,005(0,006–0,005)	0,006(0,003–0,011)	–
Ni	0,051(0,031–0,062)	0,033(0,04–0,03)	0,039(0,03–0,047)	–
Cu	0,42(0,31–0,56)	0,353(0,43–0,35)	0,43(0,31–0,49)	10
Zn	10,5(6,5–18,3)	8,600(8,20–10,30)	8,77(7,21–11)	40
As	0,075(0,063–0,11)	0,036(0,032–0,041)	0,034(0,03–0,042)	1
Se	0,17(0,13–0,26)	0,22(0,18–0,25)	0,24(0,21–0,26)	–
Br	3,12(2,87–3,35)	2,18(1,22–3,13)	2,72(2,33–3,18)	–
Rb	11,2(10,4–11,9)	10,920(13,00–12,20)	10,9(8,21–12,3)	–
Mo	0,026(0,024–0,028)	0,013(0,012–0,016)	0,019(0,013–0,025)	–
Sr	3,31(1,44–6,51)	1,33(1,32–1,21)	1,42(1,02–1,96)	–
Cd	0,006(0,004–0,008)	0,008(0,011–0,005)	0,007(0,006–0,008)	0
Sn	<0,005	0,006(0,005–0,007)	0,011(0,007–0,013)	–
Cs	0,03(0,019–0,045)	0,023(0,025–0,030)	0,022(0,014–0,03)	
Hg	0,38(0,21–0,54)	0,37(0,31–0,43)	0,22(0,11–0,29)	0,3–0,6
Pb	0,15(0,12–0,18)	0,056(0,055–0,053)	0,065(0,047–0,074)	1

о концентрации тяжелых и токсичных металлов в мышцах щуки, судака и окуня, выловленных в Ладожском и Онежском озерах.

Сравнение данных, приведенных в табл. 6, со значениями ПДК показало, что концентрация тяжелых и токсичных металлов в мышцах окуня, судака и щуки в обоих озерах находится в пределах принятых в РФ нормативов. При этом следует обратить внимание на достаточно высокую концентрацию ртути в мышцах щуки, судака и окуня. Ртуть и ее соединения являются высокотоксичным, кумулятивным ядом, поражающим кроветворную, ферментативную, нервную системы и почки. Ртуть относится к числу элементов, постоянно присутствующих в окружающей среде и живых орга-

низмах. В мышцах рыбы ртуть присутствует в основном (до 80 %) в метилированной форме: метилртути (метилртутный гидроксид CH_3HgOH (ММНг)) [17, 18]. Это соединение – наиболее стабильная форма метилового ртути в пресноводной среде и является самым распространенным органическим соединением ртути в пресноводных системах. Среднеарифметическая концентрация Hg в мышцах щуки, судака и окуня, показанная в табл. 6, составляет значение 0,3–0,5 от ПДК. Тем не менее, принимая во внимание возможность кумулятивного накопления Hg в организме человека, следует признать потенциальную опасность регулярного употребления этих видов рыб в рационе питания местного населения.

Выводы

• Суммарное загрязнение почв городов Олонца, Медвежьегорска, Повенца и Пиндушей находится в пределах допустимого. Загрязнение почв Петрозаводска классифицируется как опасное, городов Питкяранта, Сортавала и Суоярви — как умеренно опасное.

• Взаимосвязь между концентрацией элементов в почве и листьях березы (листья не отмывались от поверхностного загрязнения) следует признать высокой, что позволяет считать в данном конкретном случае листья березы косвенным индикатором загрязнения воздушной среды.

• Вода в Ладожском, Онежском озерах и озере Суоярви по концентрации микроэлементов соответствует нормативам, принятым в РФ для питьевой воды (ГОСТ, СанПин).

• В донных отложениях Онежского озера обнаружено повышенное содержание S, Cr, Cu, Zn, Sb, Ba, W и Pb. Пространственное распределение и уровни загрязнения донных отложений Онежского озера этими элементами нуждаются в дальнейшем изучении.

• Концентрация тяжелых и токсичных металлов в мышцах окуня, судака и щуки в Ладожском и Онежском озерах находятся в пределах ПДК, принятых в РФ. Тем не менее следует признать потенциальную опасность регулярного употребления этих видов рыб в рационе питания местного населения.

Работа выполнена в рамках совместных исследований Геологического института РАН (г. Москва) и Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ (г. Дубна).

Благодарности

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

Авторство

Горбунов А. В. внес основной вклад в концепцию и дизайн исследования, подготовил первый вариант статьи; Ляпунов С. М. существенно переработал и окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Ермолаев Б. В. внес определяющий вклад в анализ и интерпретацию данных, существенно переработал статью на предмет важного интеллектуального содержания; Окина О. И. внесла определяющий вклад в анализ и интерпретацию данных по концентрации элементов в водной среде и биоте; Фронтасьева М. В. разработала общий дизайн и отрецензировала текст статьи; Павлов С. С. произвел математическую обработку данных.

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

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

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

Окина Ольга Ильинична — ORCID 0000-0002-1947-4551; SPIN3243-7281

Фронтасьева Марина Владимировна — ORCID 0000-0003-2366-4873

Список литературы

1. Беклемишев М. К., Иванов В. М., Мугинова С. В., Осипова Е. А., Проскурнин М. А., Шаповалова Е. Н. Объекты окружающей среды и их аналитический контроль // Методы анализа объектов окружающей среды / под ред. Шеховцовой Т. Н. Краснодар: Арт-Офис, 2007. 380 с.

2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 23 января 2006 г. № 1 с 1 апреля 2006 г. Роспотребнадзор 2006, М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006, С. 15.

3. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 18 мая 2009 г. N 32) М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. С. 11.

4. Горбунов А. В., Ляпунов С. М., Ермолаев Б. В. Распределение ртути в природных и урбанизированных средах Карелии // Экология человека. 2019. № 4. С. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-4-10-17>

5. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2008. С. 48.

6. ГОСТ Р 51593-2000. Вода питьевая. Отбор проб. М.: Стандартинформ, 2008. С. 295–304.

7. ГОСТ Р 53123-2008 (ИСО 10381-5:2005). Качество почвы. Отбор проб. Ч. 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы. М.: Стандартинформ, 2009. С. 30.

8. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2015 г. / Министерство по природопользованию и экологии Республики Карелия; редкол.: А. Н. Громцев (гл. ред.) и др. Петрозаводск, 2016. 260 с. URL: <http://economy.krc.karelia.ru/publ.php?id=17566&plang=r>

9. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2017 г. / Министерство по природопользованию и экологии Республики Карелия; редкол.: А. Н. Громцев (гл. ред.) и др. Петрозаводск, 2018. 272 с.

10. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания. М.: Минздрав России, 1999. С. 11

11. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив. Санкт-Петербург, 1996, 20 с.

12. НСАМ 510-ЯФ. Определение микроэлементов в горных породах, рудах, почвах, донных отложениях, золах растений, и в твердых биологических материалах растительного и животного происхождения нейтронно-активационным методом. М., 2011. 38 с.

13. Саев Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

14. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав России, 2002. С. 46.

15. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М.: Минздрав России, 2002. С. 269.

16. Яшин И. М., Кузнецов П. В., Петухова А. А. Экогеохимическая оценка почв и лесопарковых фаций

Петрозаводска // Известия ТСХА. Вып. 4, 2011. С. 30–43.

17. ADDENDUM FOR ORGANIC MERCURY COMPOUNDS (Alkyl and Dialkyl Mercury Compounds) Supplement to the 1999 Toxicological Profile for Mercury // Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences Atlanta, GA 30333, March 2013. P. 143.

18. Anatoliy V. Gorbunov, Boris V. Ermolaev, Sergey M. Lyapunov, Olga I. Okina, Sergey S. Pavlov, Marina V. Frontasyeva. Estimation of Mercury Intake from Consumption of Fish and Seafood in Russia // Food and Nutrition Sciences. 2016. Vol. 7. P. 1–8. Available at: <http://www.scirp.org/journal/ins>, doi: 10.4236/ins.2016.77053.

19. Bergback B., Johansson K., Mohlander U. Urban metal flows: a case study of Stockholm // Water Air Soil Pollution. 2001. Vol. 1. P. 3–24.

20. Hjortenkrans D., Bergbäck B., Häggerud A., Hjortenkrans D., Bergbäck B., Häggerud A. Metal emissions from brake linings and tires: case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005 // Environmental Sciences and technologies. 2007. Vol. 41. P. 5224–5230.

21. Lokola-Ruskanoia K., Cantola M., Halonen T. et al. Mercury-haltiger Schwarzer Schiefer und menschlicher Quecksilberverbrauch in Ostfinnland // Auswirkungen und Mechanismen, Okologische Geologie. 2003. Vol. 43, N 3. P. 283–297.

22. Zevenhoven R., Kilpinen P. Control of pollutants in flue gases and fuel gases // Report TKKENY-4. 2nd edition. EspooTurku, Finland, 2002. 298 p.

References

1. Beklemishev M. K., Ivanov V. M., Muginova S. V., Osipova E. A., Proskurnin M. A., Shapovalova E. N. *Obekty okruzhayushhej sredy i ix analiticheskij kontrol. Metody analiza obektov okruzhayushhej sredy* [Environmental Objects and their analytical control. Methods of analysis of environmental objects]. Ed. Shekhovtsova T. N. Krasnodar, Art-Office Publ., 2007, 380 p.

2. GN 2.1.7.2041-06. *Maximum permissible concentrations (MPC) chemicals in the soil*. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006, p. 15. [In Russian]

3. GN 2.1.7.2511-09. *Approximate permissible concentrations (UEC) of chemicals in soil Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor*, 2009, p. 11. [In Russian]

4. Gorbunov A. V., Lyapunov S. M., Ermolaev B. V. Distribution of Mercury in Natural and Urban Environments of Karelia, Northwest Russia. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 4, pp. 10-17. Available at: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-4-10-17> [In Russian]

5. GOST R 51592-2000. *Water. General requirements for sampling*. Moscow, Standardinform, 2008, p. 48. [In Russian]

6. GOST R 51593-2000. *Drinking Water. Sampling*. Moscow, Standardinform, 2008, p. 295-304. [In Russian]

7. GOST R 53123-2008 (ISO 10381-5:2005). *Soil Quality. Sampling. Pt. 5. Guidelines for the study of urban and industrial sites for soil contamination*. Moscow, Standardinform, 2009, p. 30. [In Russian]

8. *State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2015*. Ministry of nature management and ecology of the Republic of Karelia. A. N. Gromtsev (ed.) and others. Petrozavodsk, 2016, 260 p. Available at: <http://economy.krc.karelia.ru/publ.php?id=17566&plang=r> [In Russian]

9. *State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2017*. Ministry of nature management and ecology of the Republic of Karelia. A. N. Gromtsev (editor-in-chief) and others]. Petrozavodsk, 2018, 272 p. [In Russian]

10. MU 2.1.7.730-99. *Hygienic assessment of soil quality in populated areas. Methodical instructions. Regionalnyj normativ*. Moscow, Ministry of Health of Russia, 1999, p. 11. [In Russian]

11. *Norms and criteria for assessment of contamination of bottom sediments in water bodies of St. Petersburg. The regional standard*. Saint Petersburg, 1996 r, 20 p. [In Russian]

12. NSAM 510-YAF. *Determination of trace elements in rocks, ores, soils, bottom sediments, plant ashes, and solid biological materials of plant and animal origin by neutron activation method*. Moscow, 2011, 38 p. [In Russian]

13. Saet J. E., Revich B. A., Yanin E. P. *Geoximiya okruzhayushhej sredy* [Environmental Geochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 335 p.

14. SanPiN 2.1.4.1074-01. *Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control*. Moscow, Ministry of Health of Russia, 2002, p. 46. [In Russian]

15. SanPiN 2.3.2.1078-01. *Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products*. Moscow, Ministry of Health of Russia, 2002, p. 269. [In Russian]

16. Yashin I. M., Kuznetsov P. V., Petukhova A. A. Ecogeochemical assessment of soils and Park facies of Petrozavodsk. *Izvestiya TSXA* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]. 2011, 4, pp. 30-43 [In Russian]

17. ADDENDUM FOR ORGANIC MERCURY COMPOUNDS (Alkyl and Dialkyl Mercury Compounds) Supplement to the 1999 Toxicological Profile for Mercury. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences Atlanta, GA 30333, March 2013, p. 143.

18. Anatoliy V. Gorbunov, Boris V. Ermolaev, Sergey M. Lyapunov, Olga I. Okina, Sergey S. Pavlov, Marina V. Frontasyeva. Estimation of Mercury Intake from Consumption of Fish and Seafood in Russia. *Food and Nutrition Sciences*. 2016, 7, pp. 1-8, Available at: <http://www.scirp.org/journal/ins> doi: 10.4236/ins.2016.77053.

19. Bergback B., Johansson K., Mohlander U. Urban metal flows: a case study of Stockholm. *Water Air Soil Pollution*. 2001, 1, pp. 3-24.

20. Hjortenkrans D., Bergbäck B., Häggerud A., Hjortenkrans D., Bergbäck B., Häggerud A. Metal emissions from brake linings and tires: case studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005. *Environmental Sciences and technologies*. 2007, 41, pp. 5224-5230.

21. Lokola-Ruskanoia K., Cantola M., Halonen T. et al. Mercury-haltiger Schwarzer Schiefer und menschlicher Quecksilberverbrauch in Ostfinnland. *Auswirkungen und Mechanismen, Okologische Geologie*. 2003, 43 (3), pp. 283-297.

22. Zevenhoven R., Kilpinen P. Control of pollutants in flue gases and fuel gases. *Report TKKENY-4. 2nd edition*. EspooTurku, Finland, 2002, 298 p.

Контактная информация:

Горбунов Анатолий Викторович – старший научный сотрудник лаборатории химико-аналитических исследований ФГБУН «Геологический институт РАН»

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

E-mail: anatolygor@yandex.ru

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕННОГО РИСКА ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

© 2020 г. В. А. Карпин, *А. Б. Гудков, О. И. Шувалова, *О. Н. Попова

БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры», г. Сургут;

*ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Архангельск

Цель исследования – выявить особенности влияния локальных разломов земной коры (ЛРЗК) на развитие онкологической заболеваемости населения в экологических условиях северной урбанизированной территории на примере г. Сургута. *Методы.* Изучена геологическая неоднородность подлежащих грунтов городской территории с определением ЛРЗК, формирующих геопатогенные зоны. Затем проведена сравнительная оценка уровней эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона над ЛРЗК и над сплошным массивом. В последующем изучалась сравнительная онкологическая заболеваемость и смертность населения, проживающего над ЛРЗК и над сплошным массивом. В разработку вошли пациенты, страдающие пятью распространенными злокачественными заболеваниями: рак легкого, рак желудка, рак толстого кишечника, рак молочной железы, рак матки и придатков. *Результаты.* Комплексное геолого-географическое исследование выявило на территории города 18 ЛРЗК. Сравнительный анализ эманиции радона показал, что его ЭРОА в зданиях, расположенных над ЛРЗК, более чем в 1,5 раза выше, чем над сплошным массивом. Установлено статистически значимое преобладание заболеваемости и смертности среди пациентов с отмеченными злокачественными новообразованиями, проживающих над ЛРЗК. В наибольшей степени это касалось больных, страдающих раком легких и злокачественными заболеваниями женской половой сферы. *Выводы.* При выборе перспективных участков для строительства жилых зданий и сооружений должны проводиться предварительные экологические исследования территории, направленные на оценку их радоноопасности.

Ключевые слова: локальные разломы земной коры, эманиция радона, онкологическая заболеваемость.

GEOLOGICAL HETEROGENEITY OF THE EARTH CRUST AS A RISK FACTOR FOR CANCER

V. A. Karpin, *A. B. Gudkov, O. I. Shuvalova, *O. N. Popova

Surgut State University, Surgut, Russia; *Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

The aim: to study associations between earth crust local faults (ECLF) and cancer morbidity in the Northern city of Surgut. *Methods.* Firstly, we studied geological heterogeneity of the underlying soils of the city and identified ECLF sites. Then, the data on cancer incidence and mortality across the areas were assessed. Finally, cancer incidence and cancer mortality of the population living above the ECLF and above the solid mass were compared. Lung-, stomach- colon, breast-uterine and ovarian cancers were studied. *Results.* Altogether, 18 ECLF were identified on the territory of the city. Radon emanation above the ECLF was more than 1.5 times as high as over a solid array. An increased levels of cancer mortality was detected in areas over ECLF. The most pronounced associations were observed for lung cancer, uterine and ovarian cancers. *Conclusions.* Our results warrant detailed studies of the environment with special emphasis on radon in urban planning.

Key words: earth crust local faults, radon emanation, cancer incidence, mortality

Библиографическая ссылка:

Карпин В. А., Гудков А. Б., Шувалова О. И., Попова О. Н. Геологическая неоднородность земной коры как фактор повышенного риска онкологической заболеваемости населения // Экология человека. 2020. № 8. С. 15–19.

For citing:

Karpin V. A., Gudkov A. B., Shuvalova O. I., Popova O. N. Geological Heterogeneity of the Earth Crust as a Risk Factor for Cancer. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 8, pp. 15-19.

Основным источником постоянного облучения населения на земной поверхности во все времена являлся естественный радиоактивный фон (ЕРФ). Многолетние наблюдения показали, что главной составляющей среди всех природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ) является радон и его дочерние продукты распада [1, 7]. Присутствуя внутри практически всех зданий, они вносят основной вклад в радиационное облучение населения [4, 9, 12].

В настоящее время повсеместно возрастает научный интерес к возможному неблагоприятному биотропному воздействию малых и сверхмалых доз природных геофизических факторов, особенно к проблеме канцерогенных эффектов естественного радиационного облучения.

Медико-экологический контроль за биогенными эффектами ПИИИ радона показал, что он является важнейшим фактором риска развития рака легкого [5, 16, 18], причем не была убедительно продемон-

стрирована связь радонового облучения с другими онкологическими заболеваниями [3].

На уровень концентрации радона в жилых помещениях оказывают влияние две основные составляющие — радиологическая характеристика подстилающих пород и грунтов (геогенный потенциал) и конструктивные особенности зданий и сооружений (антропогенный потенциал) [13].

Наряду с инженерно-строительными мероприятиями геогенному радоновому потенциалу стало уделяться повышенное внимание вплоть до разработки территориальных карт и атласов естественной радиоактивности [14, 15, 17].

Исследования в этом направлении выявили территориальную неоднородность земной коры, оказывающую существенное биопатогенное воздействие на общественное здоровье [2, 8]. Выявленные геопатогенные зоны были обозначены как локальные разломы земной коры (ЛРЗК).

Цель настоящего исследования — изучение особенностей онкологической заболеваемости населения на различных участках геологической неоднородности территории проживания в связи с пространственными аномалиями радонового потенциала.

Методы

Процесс выявления и оценки ЛРЗК состоял из нескольких последовательных этапов [8]. Вначале было выполнено картографирование данных космических и аэрофотоснимков для выявления линейментов — прямолинейных элементов ландшафтов, отражающих ЛРЗК на поверхности Земли. Затем был проведен анализ данных геологических исследований, позволивший произвести сравнительную оценку грунтов над локальными разломами в сравнении со сплошным массивом. На третьем этапе исследований изучали особенности эманации радона над ЛРЗК и сплошным массивом на территории г. Сургута — крупнейшего промышленного центра нефтегазодобывающей отрасли Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. С этой целью определялась эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в помещениях зданий над ЛРЗК и над сплошным массивом городской территории радиометрами «РЭКС» и «РАМОН» по методике [10].

Параллельно методом пятилетнего мониторинга изучалась сравнительная онкологическая заболеваемость и смертность населения, проживающего над разломами и над сплошным массивом, по пяти распространенным нозологическим формам: рак легкого, рак желудка, рак толстого кишечника, рак молочной железы, рак матки и придатков. Принимая во внимание тот факт, что зоны локальных разломов отличаются сравнительно малыми размерами, а современные жилые строения часто имеют достаточно большую протяженность, место проживания больного учитывали вплоть до номера подъезда, совершая подворные обходы. Расчеты про-

водились с учетом площади изучаемой территории и плотности населения (на 1 000 населения и на 1 км² территории).

Статистическую значимость различия изучаемых параметров определяли с применением двух критериев — Стьюдента и Манна — Уитни для нивелирования погрешности при отсутствии нормального распределения изучаемых параметров. При этом учитывали не среднюю ошибку средней величины «m», а стандартное отклонение «δ», которое определяет разброс статистических данных относительно средней величины.

Результаты

В результате проведенного комплексного геолого-географического исследования на территории г. Сургута выявлено 18 ЛРЗК, проявляющихся на поверхности линейментами, занимающими около 40 % городской территории (рисунок). Наземное маршрутное исследование позволило подтвердить, что выявленные линейменты соответствовали активным ЛРЗК на территории города.

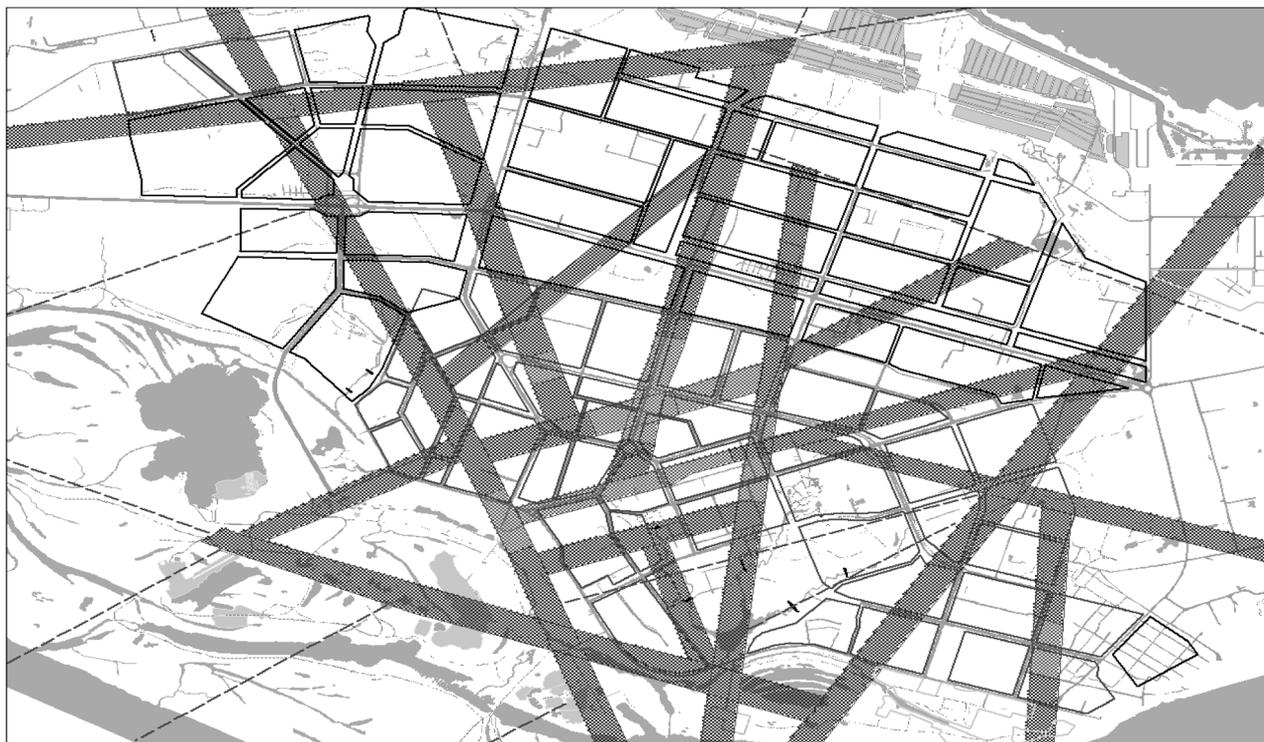
Территориальный сравнительный анализ эманации радона показал, что его ЭРОА в зданиях, расположенных над ЛРЗК, оказалась более чем в 1,5 раза выше, чем расположенных над сплошным массивом: $(44,98 \pm 5,76)$ Бк/м³ против $(29,21 \pm 2,93)$ соответственно; $P < 0,001$).

Для решения поставленной цели изучена средне-годовая сравнительная адресная частота постоянного проживания на территории города 795 больных с отмеченными онкологическими заболеваниями (табл. 1).

Анализ полученных данных показал статистически значимое (в 1,6 раза; $P < 0,001$) преобладание общей частоты онкологической заболеваемости в целом среди пациентов, проживающих над локальными разломами, чем среди проживающих на остальной территории города. Что касается конкретных нозологических форм, то явное преобладание выпало на долю рака легкого (в 2,5 раза) и рака молочной железы (в 1,8 раза). Среди изучаемых злокачественных новообразований пищеварительной системы существенных различий не обнаружено.

С целью более углубленного анализа проблемы параллельно с онкологической заболеваемостью изучена сравнительная среднегодовая адресная частота 996 случаев смерти больных от изучаемых злокачественных заболеваний за тот же период времени в зависимости от места их постоянного проживания — над ЛРЗК или над сплошным массивом (табл. 2).

Статистический анализ показал, что общая частота смертности от изучаемых заболеваний среди пациентов, постоянно проживающих над ЛРЗК, оказалась статистически значимо выше ($P < 0,001$), чем среди проживающих на остальной территории города. Среди нозологических форм преобладали рак легкого и рак желудка.



Карта локальных разломов земной коры на территории г. Сургута

Таблица 1

Адресная среднегодовая сравнительная частота онкологической заболеваемости населения г. Сургута над локальными разломами земной коры и над сплошным массивом

Исследуемый параметр	Показатель над ЛРЗК	Показатель над сплошным массивом	Значимость различий (P)
Эквивалентная равновесная объемная активность радона ²²² , Бк/м ³	44,98 ± 5,76	29,21 ± 2,93	< 0,001
Всего больных:	0,274 ± 0,002	0,174 ± 0,001	< 0,001
В том числе:			
Раком легкого	0,028 ± 0,007	0,011 ± 0,003	0,038
Раком желудка	0,015 ± 0,009	0,010 ± 0,003	> 0,5
Раком толстого кишечника	0,022 ± 0,008	0,012 ± 0,003	> 0,2
Раком молочной железы	0,081 ± 0,004	0,045 ± 0,002	< 0,001
Раком матки и придатков	0,083 ± 0,004	0,070 ± 0,001	< 0,001

Таблица 2

Адресная среднегодовая сравнительная частота смертности населения г. Сургута от онкологической заболеваемости над локальными разломами земной коры и над сплошным массивом

Исследуемый параметр	Показатель над ЛРЗК	Показатель над сплошным массивом	Значимость различий (P)
Эквивалентная равновесная объемная активность радона ²²² , Бк/м ³	44,98 ± 5,76	29,21 ± 2,93	< 0,001
Всего больных:	0,209 ± 0,002	0,149 ± 0,001	< 0,001
В том числе:			
Раком легкого	0,071 ± 0,004	0,048 ± 0,002	0,043
Раком желудка	0,045 ± 0,005	0,029 ± 0,002	> 0,5
Раком толстого кишечника	0,043 ± 0,005	0,036 ± 0,002	> 0,2
Раком молочной железы	0,030 ± 0,007	0,018 ± 0,002	< 0,001
Раком матки и придатков	0,029 ± 0,004	0,019 ± 0,003	< 0,001

Обсуждение результатов

Целенаправленное изучение особенностей грунтов, подстилающих жилые помещения, с точки зрения их радоноопасности выявило следующие закономерности. Выявлена территориальная неоднородность городской черты с определенной локализацией «геопатогенных зон», обозначенных как ЛРЗК. Сравнительное изучение ЕРФ показало статистически значимое преобладание ЭРОА радона над разломами по сравнению со сплошным массивом.

Многочисленные отечественные и зарубежные исследования показали канцерогенный эффект повышенной эманации радона, определяя его биопатогенный эффект как важнейший фактор риска развития злокачественных новообразований дыхательных путей [3, 6, 11]. Возможность развития злокачественных новообразований других органов и систем ставилась под сомнение. Изучение проблемы радоноопасности в связи со строительством жилых зданий над ЛРЗК практически не проводилось.

Проведенные исследования показали статистически значимую связь повышенной эманации радона в жилых помещениях, расположенных над ЛРЗК, с онкологической заболеваемостью и смертностью населения селитебных зон. Причем оказалось, что кроме бронхолегочной системы онкологическому риску подвергается также женская половая сфера.

Полученные данные диктуют необходимость организации радиологического анализа территории предстоящей застройки с установлением запретных зон для строительства.

Выводы

1. На территории всех жилых зон необходимо проводить геолого-географические исследования подлежащих грунтов с целью выявления геологической неоднородности земной коры (ЛРЗК).

2. Необходимо рассматривать выявленные разломы как геопатогенные зоны с тщательным изучением возможных аномалий их естественных геофизических факторов.

3. Полученные данные доказывают наличие повышенного в 1,6 раза ($P < 0,001$) канцерогенного риска в жилых помещениях, расположенных над ЛРЗК.

4. При выборе участков застройки должны проводиться радиационно-экологические исследования, направленные на оценку их радоноопасности.

Авторство

Карпин В. А. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, в накопление и обработку данных, написал первый вариант статьи; Гудков А. Б. внес существенный вклад в интерпретацию данных, окончательно отредактировал рукопись; Шувалова О. И. приняла активное участие в накоплении и анализе материала; Попова О. Н. приняла участие в написании первого варианта статьи.

Карпин Владимир Александрович — SPIN 1860-8435; ORCID 0000-0002-8731-0786

Гудков Андрей Борисович — SPIN 4369-3372; ORCID 0000-0001-5923-0914

Шувалова Ольга Ивановна — SPIN 6476-1995; ORCID 0000-0002-7273-7461

Попова Ольга Николаевна — SPIN 5792-0273; ORCID 0000-0002-0135-4594

Список литературы

1. Карпин В. А., Кострюкова Н. К., Гудков А. Б. Радиационное воздействие на человека радона и его дочерних продуктов распада // Гигиена и санитария. 2005. № 4. С. 13–17.
2. Карпин В. А., Полухин В. В., Кострюкова Н. К. Актуальные проблемы северной магнитобиологии. М.: Спутник плюс, 2012. 149 с.
3. Киселев С. М., Жуковский М. В. Современные подходы к обеспечению защиты населения от радона. Международный опыт регулирования // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 4. С. 48–52.
4. Киселев С. М., Стамат И. П., Маренный А. М., Ильин Л. А. Обеспечение защиты населения от облучения радонотом. Проблемы и пути решения // Гигиена и санитария. 2018. Т. 97, № 2. С. 101–110.
5. Кононенко Д. В. Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радонотом // Радиационная гигиена. 2013. Т. 6, № 1. С. 31–37.
6. Кононенко Д. В., Кормановская Т. А. Оценка риска при облучении радонотом для населения субъектов Российской Федерации на основе данных радиационно-гигиенического паспорта территории // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 4. С. 15–22.
7. Кострюкова Н. К., Карпин В. А., Гудков А. Б. Смертность населения, проживающего в местах локальных разломов земной коры // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2005. № 4. С. 17–19.
8. Кострюкова Н. К., Кострюков О. М. Локальные разломы земной коры — фактор природного риска. М.: Изд-во АГН, 2002. 239 с.
9. Маренный А. М., Киселев С. М. Национальные радоновые программы: опыт реализации и задачи на перспективу // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2 (спецвыпуск). С. 97–108.
10. Методика измерения мгновенной эквивалентной равновесной объемной активности радона в помещениях зданий по величине «скрытой энергии» короткоживущих продуктов распада. М., 1995.
11. Охрименко С. Е., Коренков И. П., Микляев П. С., Прохоров Н. И., Вербова Л. Ф., Орлов Ю. В., Петрова Т. Б., Лащенкова Т. Н., Аколова Н. А., Киселев С. М. Ранжирование территории Москвы по потенциальной радоновой опасности // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 3. С. 211–216.
12. Цапалов А. А., Киселев С. М., Маренный А. М., Ковлер К. Л., Кувшинников С. И. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Ч. 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 1. С. 53–63.
13. Ярмошенко И. В., Малиновский Г. П., Онищенко А. Д., Васильев А. В. Проблема облучения радонотом в зданиях повышенного класса энергоэффективности // Радиационная медицина. 2019. Т. 12, № 4. С. 56–65.
14. Gruber V., Bossew P., De Cjrt M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential // Journal of Radiological Protection. 2013. Vol. 33, N 1. P. 51–60.
15. Szabó K. Z., Jordan G., Szabó C. Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series

// Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 124. P. 74–83.

16. Tirmarche M., Harrison J. D., Laurier D., Paquet F., Blanchardon E., Marsh J. W. ICRP Publication 115. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon // Annals of the ICRP. 2010. Vol. 40, N 1. P. 1–64.

17. Tollefsen T., Cinelli G., Bossew P., Gruber V., De Cort M. From the European indoor radon map towards an Atlas of natural radiation // Radiation Protection Dosimetry. 2014. Vol. 162, N 1–2. P. 129–134.

18. Tomasek L. Effect of Age at Exposure in 11 Underground Miners Studies // Radiation Protection Dosimetry. 2014. Vol. 160, N 1–3. P. 124–127.

References

1. Karpin V. A., Kostryukova N. K., Gudkov A. B. Human radiation action of radon and its daughter disintegration products. *Gigiena i sanitariia*. 2005, 4, pp. 13-17. [In Russian]

2. Karpin V. A., Polukhin V. V., Kostryukova N. K. *Aktual'nye problemy severnoi magnitobiologii* [Actual problems of northern magnetobiology]. Moscow, Sputnik plyus Publ., 2012, 149 p.

3. Kiselev S. M., Zhukovsky M. V. Modern approaches to protecting the population from radon. International regulatory experience. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2014, 7, 4, pp. 48-52. [In Russian]

4. Kiselev S. M., Stamat I. P., Marenny A. M., Ilyin L. A. Ensuring the protection of the population from exposure to radon. Problems and solutions. *Gigiena i sanitariia*. 2018, 97 (2), pp. 101-110. [In Russian]

5. Kononenko D. V. Assessment of radiation risk for the population of St. Petersburg when exposed to radon. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2013, 6 (1), pp. 31-37. [In Russian]

6. Kononenko D. V., Kormanovskaya T. A. Risk assessment for exposure to radon for the population of the constituent entities of the Russian Federation based on data from the radiation-hygienic passport of the territory. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2015, 8 (4), pp. 15-22. [In Russian]

7. Kostryukova N. K., Karpin V. A., Gudkov A. B. Mortality of the population living in places of local faults of the Earth's crust. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny* [Problems of social hygiene, health and history of medicine]. 2005, 4, pp. 17-19. [In Russian]

8. Kostryukova N. K., Kostryukov O. M. *Lokal'nye razlomy zemnoi kory - faktor prirodnogo riska* [Local faults in the earth's crust are a natural risk factor]. Moscow, 2002, 239 p.

9. Marenny A. M., Kiselev S. M. National radon programs: implementation experience and tasks for the future. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2019, 12 (2), pp. 97-108. [In Russian]

10. *The methodology for measuring the instantaneous equivalent equilibrium volumetric activity of radon in the premises of buildings by the value of "latent energy" of short-lived decay products*. Moscow, 1995. [In Russian]

11. Okhrimenko S. E., Korenkov I. P., Miklyaev P. S., Prokhorov N. I., Verbova L. F., Orlov Yu. V., Petrova T. B., Laschenova T. N., Akopova N. A., Kiselev S. M. Ranking of the territory of Moscow by potential radon hazard. *Gigiena i sanitariia*. 2017, 96 (3), pp. 211-216. [In Russian]

12. Tsapalov A. A., Kiselev S. M., Marenny A. M., Kovler K. L., Kuvshinnikov S. I. Uncertainty of the results of radon monitoring in rooms. Part 1. The problem of assessing the content of radon and the modern control principle. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene]. 2018, 11 (1), pp. 53-63. [In Russian]

13. Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P., Onishchenko A. D., Vasiliev A. V. The problem of exposure to radon in buildings of high energy efficiency class. *Radiatsionnaya meditsina* [Radiation medicine]. 2019, 12 (4), pp. 56-65. [In Russian]

14. Gruber V., Bossew P., De Cjrt M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential. *Journal of Radiological Protection*. 2013, 33 (1), pp. 51-60.

15. Szabó K. Z., Jordan G., Szabó C. Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013, 124, pp. 74-83.

16. Tirmarche M., Harrison J. D., Laurier D., Paquet F., Blanchardon E., Marsh J. W. ICRP Publication 115. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. *Annals of the ICRP*. 2010, 40 (1), pp. 1-64.

17. Tollefsen T., Cinelli G., Bossew P., Gruber V., De Cort M. From the European indoor radon map towards an Atlas of natural radiation. *Radiation Protection Dosimetry*. 2014, 162 (1-2), pp. 129-134.

18. Tomasek L. Effect of Age at Exposure in 11 Underground Miners Studies. *Radiation Protection Dosimetry*. 2014, 160 (1-3), pp. 124-127.

Контактная информация:

Карпин Владимир Александрович — доктор медицинских наук, доктор философских наук, профессор, кафедры внутренних болезней БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО — Югры»

Адрес: 628412, Тюменская область, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1.

E-mail: kafter57@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ АДЕНОЗИНТРИФОСФАТОМ ЛИМФОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

© 2020 г. О. В. Зубаткина, Л. К. Добродеева, *А. А. Попов, А. В. Самодова, С. Д. Круглов

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

Важную роль в процессе нормального развития и функционирования лимфоцитов играют метаболические пути, участвующие в генерации аденозинтрифосфатом (АТФ). Энергетический метаболизм влияет на дифференциацию, пролиферацию и судьбу лимфоцитов. *Цель* исследования – определить обеспеченность лимфоцитов периферической крови АТФ и уровень регулятора митохондриального метаболизма сиртуина 3 (SIRT3) у практически здоровых северян. *Методы*. Были обследованы 106 волонтеров, жителей Архангельска (76 женщин и 30 мужчин 21–63 лет). Определялись: количество иммунокомпетентных клеток с рецепторами (CD3, CD4, CD8, CD10, CD16, CD71, CD23, CD25, HLA DR, CD95) методом непрямой иммунопероксидазной реакции, содержание в лимфоцитах АТФ биoluminesцентным методом и дополнительно (у 23 человек) SIRT3 методом иммуноферментного анализа. С помощью кластерного анализа методом «К средних» были выделены две группы обследованных, которые статистически значимо различались по всем определяемым показателям. *Результаты*. Установлено, что 78 % обследованных оказались в группе, где содержание АТФ в лимфоцитах в среднем было 0,95 (0,487) мкмоль/10⁶ кл, у 22 % обследованных уровень АТФ составил 3,71 (1,319) мкмоль/10⁶ кл, $p < 0,0001$. Выявлено различие в относительном содержании отдельных клеточных фенотипов в этих группах: в группе с более низким значением АТФ выше был удельный вес клеток CD95⁺, CD23⁺ и HLA DR; в группе с высоким уровнем АТФ – выше удельный вес CD3⁺, CD4⁺, CD8⁺, CD71⁺ клеток и наблюдалось смещение CD10/CD95 и CD4/CD23 в сторону CD10⁺, CD4⁺ клеток с высоким уровнем метаболической активности. Различию содержания АТФ в группах соответствовало различие в уровне регулятора митохондриального метаболизма SIRT3, который имел значения 0,15 (0,039) и 0,39 (0,198) пг/10⁶ кл, $p = 0,0097$. *Заключение*. Установлена взаимосвязанность обеспеченности АТФ и способности Т-клеток к реагированию. Представляется перспективным определение уровня АТФ для оценки функционирования лимфоцитов.

Ключевые слова: Т-лимфоциты, аденозинтрифосфат, сиртуин 3, метаболические пути, энергетический гомеостаз

PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES ADENOSINE TRIPHOSPHATE AVAILABILITY AMONG THE RESIDENTS OF THE NORTHERN EUROPEAN RUSSIA

O. V. Zubatkina, L. K. Dobrodeeva, *A. A. Popov, A. V. Samodova, S. D. Kruglov

Institute of Environmental Physiology of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research
Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk; *Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

Metabolic pathways participating in adenosine triphosphate (ATP) synthesis play an important role in lymphocytes normal development and functioning. Energetic metabolism has an influence on differentiation, proliferation and fate of lymphocytes. *The aim* of the study is to define ATP availability of peripheral blood lymphocytes and the level of mitochondrial metabolism regulator sirtuin 3 (SIRT3) in healthy northerners. *Methods*. 106 volunteers, habitants of Arkhangelsk (76 women and 30 men, 21–63 years old) were surveyed. Amounts of immunocompetent cells with receptors (CD3, CD4, CD8, CD10, CD16, CD71, CD23, CD25, HLA DR, CD95) were determined by indirect immunoperoxidase method, ATP concentration in lymphocytes by bioluminescent method, and additionally SIRT3 (23 volunteers) by enzyme immunoassay. Two groups were selected using “k-means” cluster analysis which differed statistically significantly in all studied parameters. *Results*. It was found that 78 % of the surveyed participants were in the group where ATP concentration was 0,95 (0,487) mcmol/10⁶ cells, in other group with 22 % participants it was 3,71 (1,319) mcmol/10⁶ cells, $p < 0,0001$. Difference in relative amounts of particular cell phenotypes was revealed in the mentioned groups: in the group with lower ATP levels the higher was percentage of CD95⁺, CD23⁺ and HLA DR cells. In the group with higher ATP levels the higher was percentage of CD3⁺, CD4⁺, CD8⁺, CD71⁺ cells and shift of CD10/CD95 and CD4/CD23 ratios was also detected in favor of CD10⁺ and CD4⁺ cells with high levels of metabolic activity. Difference of ATP levels was omni-directional with SIRT3, regulator of mitochondrial metabolism, level with concentrations 0,15 (0,039) and 0,39 (0,198) pg/10⁶ cells, $p = 0,0097$. *Conclusion*. Intersectionality of ATP availability and reactivity of T cells was identified. It appears to be promising to determine the level of ATP for evaluation of lymphocytes functioning.

Key words: T lymphocytes, adenosine triphosphate, sirtuin 3, metabolic pathways, energy homeostasis

Библиографическая ссылка:

Зубаткина О. В., Добродеева Л. К., Попов А. А., Самодова А. В., Круглов С. Д. Обеспеченность аденозинтрифосфатом лимфоцитов периферической крови у жителей Европейского Севера России // Экология человека. 2020. № 6. С. 20–25.

For citing:

Zubatkina O. V., Dobrodeeva L. K., Popov A. A., Samodova A. V., Kruglov S. D. Peripheral Blood Lymphocytes Adenosine Triphosphate Availability among the Residents of the Northern European Russia. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 6, pp. 20–25.

Известно, что переход наивных Т-клеток от покоя к высокой активности обусловлен метаболическим перепрограммированием, тесно связанным с энергетическим статусом Т-клеток [9]. Наивные Т-клетки имеют определенный уровень метаболизма, поддерживаемый в той степени активности, которая необходима для выполнения ими своей функции иммунологического надзора [11]. Метаболические запросы Т-клеток после активации растут, чтобы покрыть энергетические нужды и удовлетворить необходимые биосинтезы на уровне, позволяющем Т-клеткам выполнять соответствующие физиологические функции [20]. Обеспечение потребностей наивных и активированных Т-клеток происходит через механизмы регуляции различных метаболических путей (окисление жирных кислот, цикл трикарбоновых кислот, гликолиз, глутаминолиз), которые, участвуя в продукции многих ключевых интермедиатов и в генерации АТФ, влияют на дальнейшую судьбу Т-клеточных популяций [20, 22, 28]. Митохондрия выступает как основной генератор энергии в клетке и интегрирует сеть путей метаболизма углеводов, липидов и аминокислот. Сиртуин 3 (SIRT3) играет важную роль в функционировании митохондрий [12], влияет на многие процессы: проницаемость митохондриальной мембраны, защиту от повреждающего действия активных форм кислорода, работу цепи переноса электронов, катаболизм ацетил-коэнзима А, окисление липидов и аминокислот. SIRT3 относится к NAD⁺-зависимым деацетилазным ферментам семейства сиртуинов [4], которые наряду с АМФ-зависимой протеин киназой (АМПК) и mTOR-комплексом 1 (mTORC1) являются метаболическими сенсорами клетки и активно изучаются в настоящее время, особенно в отношении их роли в адаптивном ответе.

Целью исследования было определить обеспеченность лимфоцитов периферической крови АТФ и уровень регулятора митохондриального метаболизма SIRT3 у практически здоровых северян.

Методы

Определялись иммунологические показатели и содержание АТФ в лимфоцитах периферической крови у 106 волонтеров, жителей города Архангельска (76 женщин и 30 мужчин в возрасте от 21 до 63 лет), у 23 волонтеров дополнительно определялся митохондриальный SIRT3. Все исследования проводились с согласия волонтеров и в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2000). На анализ бралась венозная кровь утром натощак.

Комплекс иммунологического исследования включал выделение лимфоцитарной фракции крови и определение фенотипов лимфоцитов периферической крови (CD3⁺, CD4⁺, CD8⁺, CD10⁺, CD16⁺, CD71⁺, CD23⁺, CD25⁺, CD95⁺, HLADR) методом непрямой иммунопероксидазной реакции (реактивы ООО «Сорбент», Россия).

В клеточном лизате лимфоцитов методом иммуноферментного анализа на автоматическом анализаторе «Evolis» фирмы «Bio-RAD» (Германия) определяли содержание SIRT3. Концентрацию АТФ в лимфоцитах измеряли с помощью люминометра и набора реагентов «Люмтек» (Россия) с использованием люциферин-люциферазной реакции.

Статистическая обработка результатов исследования проводилась в программе «Statistica 10.0» («StatSoft», США). Вычислялись средние значения (M), стандартное отклонение (SD), проводился кластерный анализ с использованием метода «К средних», исследовались корреляционные связи.

Результаты

По результатам кластерного анализа методом «К средних» были выделены две группы из числа обследуемых, статистически значимо различающиеся по всем определяемым показателям (таблица).

Результаты кластерного анализа

Показатель, ×10 ⁶ кл/мл	Кластер 1 (n = 83) M (SD)	Кластер 2 (n = 23) M (SD)	Уровень значимости различий (p)
Лимфоциты	2,04 (0,769)	1,21 (0,470)	<0,0001
CD3	0,60 (0,308)	0,33 (0,152)	0,0011
CD4	0,44 (0,259)	0,28 (0,152)	0,0063
CD8	0,41 (0,226)	0,28 (0,156)	0,0076
CD10	0,38 (0,173)	0,23 (0,106)	0,0002
CD16	0,36 (0,169)	0,21 (0,094)	<0,0001
CD71	0,43 (0,252)	0,28 (0,157)	0,0005
CD95	0,32 (0,154)	0,17 (0,084)	<0,0001
CD25	0,42 (0,230)	0,24 (0,111)	0,0006
CD23	0,43 (0,230)	0,21 (0,082)	<0,0001
HLADR	0,46 (0,250)	0,23 (0,094)	<0,0001
АТФ, мкмоль/10 ⁶ кл	0,95 (0,487)	3,71 (1,319)	<0,0001

Характерно, что уровень внутриклеточного АТФ снижен в группе с наибольшими абсолютными значениями показателей лимфоцитарного пула (кластер 1) и наоборот. Чтобы оценить вклад определяемых клеточных фенотипов, было рассчитано их относительное содержание внутри каждой из групп. Так, в первой группе удельный вес клеток с рецепторами CD95, CD23 и HLADR был выше по сравнению с их содержанием во второй группе на 1,7 % (CD95), 3,7 % (CD23) и 3,5 % (HLADR). В то же время во второй группе выше был удельный вес клеток с рецепторами CD3, CD4, CD8 и CD71 относительно первой на 3,7, 1,5, 3,0 и 2,0 % соответственно (рис. 1). Кроме того, представляется важным для оценки клеточного звена иммунитета учитывать баланс отдельных фенотипов клеток, например, готовых к пролиферации клеток CD10⁺, и меченных к апоптозу клеток CD95⁺, Т-хелперов CD4⁺ и активированных клеток CD23⁺ с Fc-рецептором к IgE. Их соотношение в группах различалось: для группы первого кластера CD10/CD95

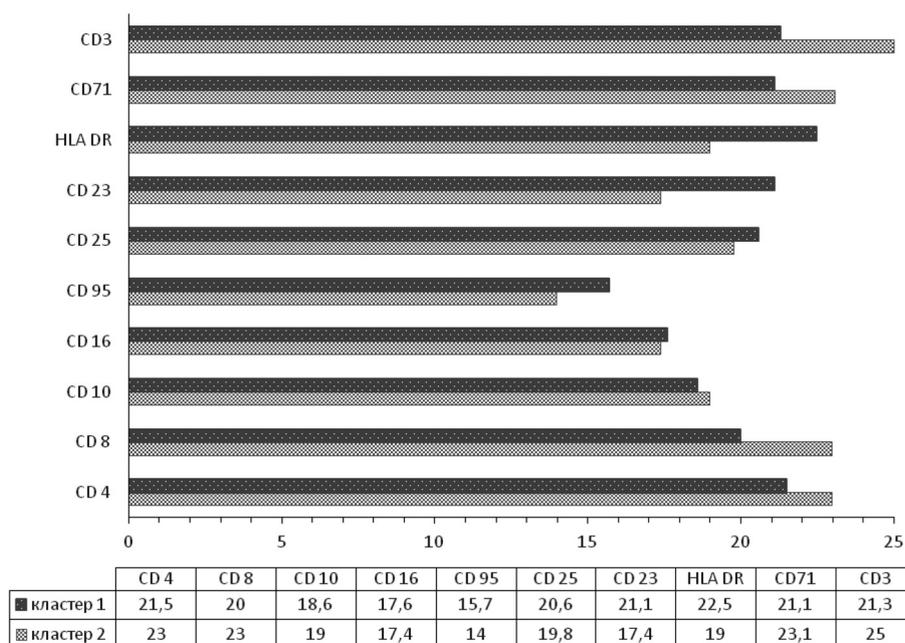


Рис 1. Долевое содержание фенотипов лимфоцитов в группах, %

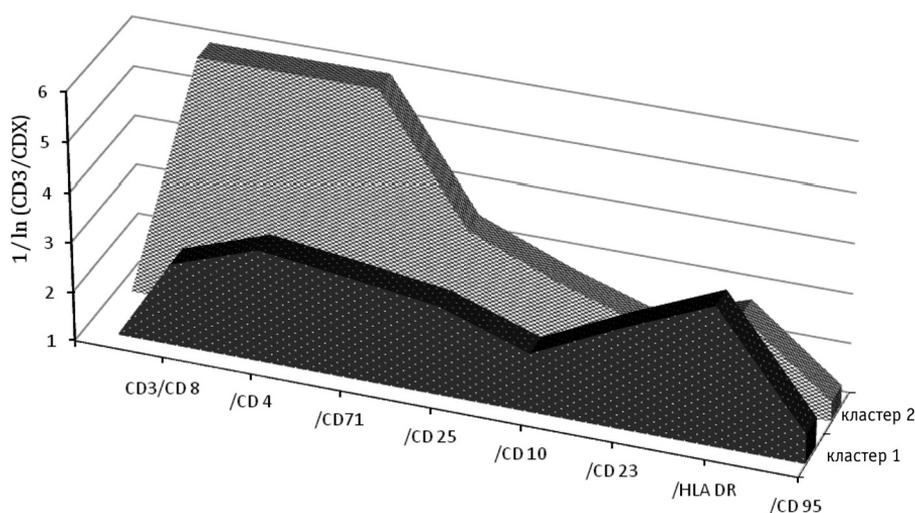


Рис. 2. Диаграмма распределения фенотипов лимфоцитов в зависимости от уровня аденозин-трифосфата

составило 1,19, а CD4/CD23 равнялось 1,02, в то время как для группы второго кластера эти соотношения были выше и составили 1,35 и 1,33 соответственно.

Для визуальной оценки реагирования клеточного звена иммунитета у групп обследуемых была построена объемная диаграмма с осями: X – клеточные маркеры; Y – значения обратного логарифма (1/ln) соотношений клеток с рецептором CD3 и рецепторами CD8, CD4, CD71, CD25, CD10, CD23, HLA DR, CD95; Z – группы кластеров 1 и 2. Как видно из диаграммы (рис. 2), у группы кластера 2 с более высоким, чем в группе 1, содержанием АТФ выше уровень дифференцировочных (CD4, CD8) и активационных (CD25, CD71) маркеров, отражающих степень их экспрессии и способность Т-клеток к реагированию.

Результаты обследования волонтеров, у которых определялось содержание SIRT3 в лизате лимфоцитов, были разделены с помощью метода кластеризации «К средних» на две статистически отличимые группы. В группе первого кластера средняя концентрация SIRT3 в клеточном лизате составила 0,15 (0,039) пг/10⁶ кл при среднем количестве лимфоцитов 3,1 (0,599) * 10⁶ кл/мл, в то время как для группы второго кластера среднее содержание SIRT3 было 0,39 (0,198) пг/10⁶ кл (p = 0,0097) и число лимфоцитов 1,43 (0,508) * 10⁶ кл/мл (p < 0,0001). Полученные различия в уровне SIRT3 соответствуют количественным изменениям АТФ в аналогичных по содержанию лимфоцитов группах кластеров, что отражено на комбинированной диаграмме (рис. 3).

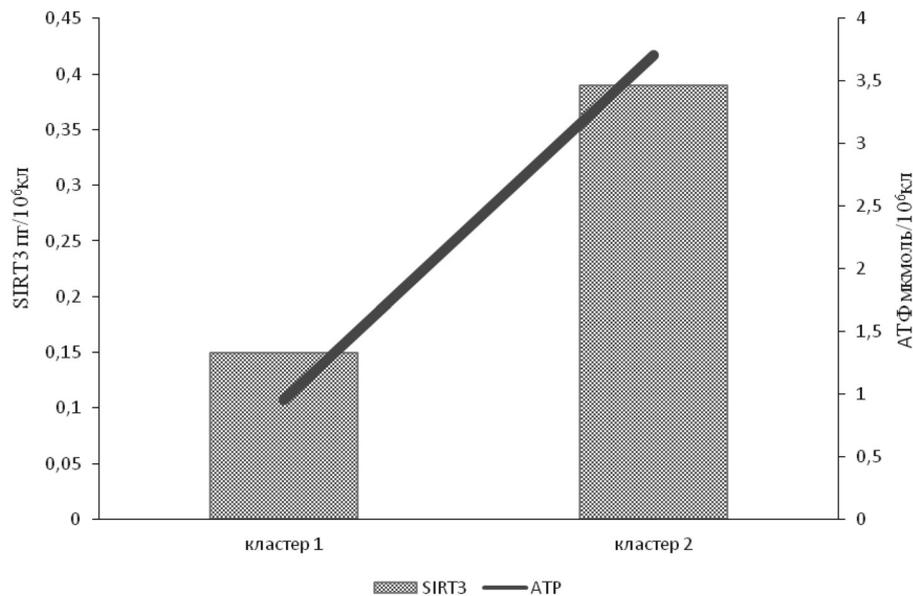


Рис. 3. Содержание сиртуина 3 и аденозинтрифосфата в лимфоцитах периферической крови

Обсуждение результатов

Как известно, основными путями выработки АТФ в лимфоцитах служат окислительное фосфорилирование (ОХРНOS), гликолиз и глютаминолиз [11, 28]. Скорость и эффективность в отношении продукции АТФ этих путей не равнозначны: гликолиз по сравнению с ОХРНOS намного быстрее, но менее эффективен. В зависимости от функционального состояния различаются и потребности клеток в нутриентах, необходимых для генерации энергии, и расход выработанной АТФ. Так, наивные Т-клетки преимущественно используют β-окисление жирных кислот и ОХРНOS и тратят значительную долю продуцируемой АТФ на поддержание состояния покоя [5]. Сохранение этого состояния обеспечивается в том числе регуляцией оборота белков, ответственных за активацию наивных клеток. Например, IL-7, необходимый для выживания наивной Т-клетки, индуцирует экспрессию транскрипционных факторов (LKLf, TOB1, FOXO3A, FOXJ1), которые активируют транскрипцию генов ингибиторов клеточной активности [16]. Один из них, ингибитор ядерного фактора каппа В (ингибитор NF-κB), постоянно экспрессирующийся в наивных Т-клетках, предотвращает переход NF-κB из цитоплазмы в ядро, блокируя тем самым его транскрипционную активность, что делает клетку невосприимчивой к активирующему сигналу [18]. Также АТФ используется на функционирование убиквитин-лигазной системы, обеспечивающей деградацию некоторых протеинкиназ, участвующих в сигнальных путях стимуляции наивных Т-клеток [7].

Активированные клетки многократно повышают поглощение глюкозы и её утилизацию для увеличения продукции АТФ, расходуя данный макроэрг на обеспечение дифференциации, быстрого роста, пролиферации, синтеза эффекторных молекул [22]. Более того, метаболический профиль каждого из специализированных субтипов Т-лимфоцитов опти-

мизирован для обеспечения их уникальных функций [2]. Так, активированные CD4⁺-эффекторные клетки и CD8⁺-цитотоксические клетки повышают уровень аэробного гликолиза [21], кроме того, Т-эффекторные клетки полагаются на поступление и метаболизм глутамин, хотя интенсивность глютаминолиза различается у разных субтипов Th-клеток и наиболее выражена у Th17 [17]. Значимым для Т-эффекторных клеток является активация PI-3K/Akt/mTOR сигнального каскада, в результате чего клетки способны усиливать метаболизм глюкозы благодаря транслокации глюкозного транспортера 1 на клеточную поверхность и предупреждению его интернализации, позитивной регуляции гликолитических ферментов и повышению скорости гликолитического потока [25]. Кроме того, происходит индукция экспрессии транспортеров аминокислот и активация mTORC1 эукариотического фактора инициации транскрипции eIF-4E и рибосомальной киназы p70S6K, что стимулирует белковые синтезы и клеточный рост [3, 27]. Т-регуляторные клетки, как и Т-клетки памяти, используют преимущественно окисление жирных кислот и ОХРНOS [19, 28]. Повышению ОХРНOS способствует характерная для Т-регуляторных клеток активация протеин киназы AMPK — внутриклеточного сенсора дефицита энергии, благодаря которой стимулируются процессы окисления субстратов и генерации АТФ [8, 10].

Полученные нами результаты показали различие в долевом составе фенотипов клеток внутри групп, которые статистически отличались, в том числе и по уровню АТФ. Так, по сравнению с группой кластера 1 в группе кластера 2 (с высоким значением АТФ) более высокой была доля зрелых лимфоцитов (CD3⁺), Т-хелперов (CD4⁺), цитотоксических Т-клеток (CD8⁺) и клеток с рецептором к трансферрину (CD71⁺), то есть есть клеток с высокой активностью метаболизма,

интенсивно использующих путь гликолиза и окислительное фосфорилирование. В то же время в группе кластера 1 была выше доля клеток, меченных к апоптозу (CD95⁺), активированных клеток с Fc-рецептором к IgE (CD23⁺) и клеток с антигенами главного комплекса гистосовместимости II класса (HLA DR), что предполагает повышенные энергетические траты на апоптозную деградацию, антителопродукцию, контроль иммунного реагирования. Данный факт отражают установленные отрицательные корреляции ($p < 0,05$) между уровнем АТФ и количеством клеток с рецепторами CD95 ($r = -0,46$), CD23 ($r = -0,44$), HLA DR ($r = -0,42$). Исходя из функциональной роли апоптоза как фактора сдерживания пролиферации, было рассчитано отношение клеток, готовых к пролиферации (CD10⁺), к клеткам, меченным к апоптозу (CD95⁺). Результат расчета CD10/CD95 показал, что для группы кластера 1 это отношение составило 1,19, в то время как в группе кластера 2 оно равнялось 1,35, что указывает на более выраженную пролиферативную активность. С позиций оценки развития альтернативного гуморального ответа с антителозависимым цитолизом является значимым отношение содержания CD4 к содержанию CD23, которое имело значения 1,02 и 1,35 у групп кластеров 1 и 2 соответственно. Это отражает более высокий уровень экспрессии Fc-рецепторов к IgE (CD23) в 1 группе, в то время как во 2 группе преобладало количество Т-хелперных клеток (CD4⁺). Таким образом, в группе кластера 2 по сравнению с группой кластера 1 высокий уровень АТФ может быть обусловлен как более высоким относительным содержанием фенотипов клеток CD4⁺, CD8⁺, CD71⁺, так и смещением CD10/CD95 и CD4/CD23 в сторону содержания клеток с высокой метаболической активностью и генерацией энергии (CD10⁺ и CD4⁺).

Наработка АТФ варьирует в зависимости от изменения микроокружения и потребности лимфоцитов в энергии через регуляцию метаболических путей с участием различных механизмов сигналинга. Так, активация CD28 сигналом PI-3K/Akt/mTOR пути приводит к стимуляции аэробного гликолиза, биосинтетических процессов [3, 15, 25]. При недостатке энергии (повышение АМФ/АТФ) активируется энергетический «страж» клетки АМПК, способствуя усилению процессов катаболизма глюкозы и жирных кислот и повышению OXPHOS пути продукции АТФ [10]. SIRT3 вместе с другими сиртуинами (SIRT1, SIRT4, SIRT5) регулирует многие аспекты функционирования митохондрий путем контроля транскрипции генов и посттрансляционной модификации белков, вовлеченных в энергетический метаболизм [23]. Оказывая деацетилирующее действие на целевые белки-мишени, SIRT3 активирует работу митохондриальных процессов, таких как цикл трикарбоновых кислот Кребса (изоцитратдегидрогеназа 2, сукцинатдегидрогеназа) [6], окислительное фосфорилирование (белковые субъединицы комплексов цепи переноса электронов) [1], скорость продукции и нейтрализацию активных форм

кислорода (супероксиддисмутаза 2) [24], β -окисление жирных кислот и наработку ацетил-CoA (ацил-CoA дегидрогеназа длинноцепочечных жирных кислот) [14], глутаминолиз (глутаматдегидрогеназа) [1]. Контроль функционирования митохондрий и экспрессия SIRT3 прямо связаны с уровнем транскрипционного ко-активатора PGC-1 α и активностью АМПК, более того, они оказывают взаимное позитивное влияние друг на друга [26]. Так, индукция экспрессии PGC-1 α может осуществляться через cAMP/PKA/CREB путь [29]. Повышение уровня PGC-1 α стимулирует экспрессию SIRT3, регулируя один из транскрипционных факторов ERR- α , который взаимодействует с промотором SIRT3 [13], а cAMP способен напрямую взаимодействовать с SIRT3, повышая стабильность белка и его каталитическую активность [29]. В свою очередь АМПК может фосфорилировать CREB и PGC-1 α и через многоступенчатый механизм регулировать экспрессию SIRT3, а SIRT3 в то же время положительно регулирует АМПК, фосфорилирование CREB и экспрессию PGC-1 α [26]. Таким образом, SIRT3 совместно с АМПК, сенсором энергодифицита, и PGC-1 α , регулятором транскрипционной активности вовлеченных в энергетический метаболизм генов участвует в контроле энергетического статуса клеток. Проведенный анализ полученных нами количественных значений SIRT3 и АТФ в лимфоцитах показал, что уровень SIRT3 прямо соотносится с содержанием АТФ.

Заключение

Решающую роль в развитии Т-клеток, поддержании внутриклеточного гомеостаза и функций, процессах дифференциации, пролиферации, клеточной памяти играет продукция АТФ с участием определенных метаболических путей: OXPHOS, гликолиза, глутаминолиза. Интенсивность субстратных потоков, количество и активность ферментов, вовлеченных в эти пути, контролируются различными сигналами через механизмы регуляции транскрипции генов, варианты посттрансляционной модификации белков. Результаты проведенного нами исследования показывают, что обеспеченность лимфоцитов периферической крови АТФ обуславливает активационную и реакционную способность Т-клеток. Представляется важным учитывать из подмножества лимфоцитов относительное количество фенотипов клеток с высокой метаболической активностью CD4⁺, CD8⁺, CD25⁺, CD71⁺, клеток с экспрессией функционального антигена CD23, клеток, готовых к пролиферации CD10⁺, клеток, меченных к апоптозу CD95⁺, отношения содержания CD10 и CD95, CD4 и CD23. Дополнительное определение уровня SIRT3 позволяет отразить активность митохондриального метаболизма и путей, участвующих в продукции АТФ. Оценка энергетического статуса лимфоцитов является, на наш взгляд, весьма перспективной в исследовании их функционирования и для установления возможных причин нарушений иммунного реагирования.

Авторство

Зубаткина О. В. внесла существенный вклад в концепцию, анализ и интерпретацию данных, подготовила окончательный вариант статьи; Добродеева Л. К. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Попов А. А. участвовал в получении, анализе и интерпретации данных, подготовил первый вариант статьи; Самодова А. В. участвовала в получении, анализе и интерпретации данных; Круглов С. Д. участвовал в получении и анализе данных, проводил статистическую обработку результатов.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Зубаткина Ольга Владимировна – SPIN 1581-5178; ORCID 0000-0002-5039-2220

Добродеева Лилия Константиновна – SPIN 4518-6925; ORCID 0000-0001-5080-6502

Попов Андрей Александрович – SPIN 8197-6019; ORCID 0000-0003-2544-9093

Самодова Анна Васильевна – SPIN 6469-0408; ORCID 0000-0001-9835-8083

Круглов Сергей Дмитриевич – SPIN 2532-9912; ORCID 0000-0002-4085-409X

References

- Ahn B. H., Kim H. S., Song S., et al. A role for the mitochondrial deacetylase Sirt3 in regulating energy homeostasis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2008, 105, pp. 14447-14452.
- Almeida L., Lochner M., Berod L., Sparwasser T. Metabolic pathways in T cell activation and lineage differentiation. *Semin. Immunol.* 2016, 28, pp. 514-524.
- Ben-Sahra I., Manning B. D. mTORC1 signaling and the metabolic control of cell growth. *Curr. Opin. Cell Biol.* 2017, 45, pp. 72-82.
- Canty C., Auwerx J. NAD⁺ as a signaling molecule modulating metabolism. *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* 2011, 76, pp. 291-298.
- Cekic C., Sag D., Day Y. J., Linden J. Extracellular adenosine regulates naive T cell development and peripheral maintenance. *J. Exp. Med.* 2013, 210 (12), pp. 2693-2706.
- Cimen H., Han M. J., Yang Y., et al. Regulation of succinate dehydrogenase activity by SIRT3 in mammalian mitochondria. *Biochemistry.* 2010, 49, pp. 304-311.
- Duan L., Reddi A. L., Ghosh A., Dimri M., Band H. The Cbl family and other ubiquitin ligases: destructive forces in control of antigen receptor signaling. *Immunity.* 2004, 21, pp. 7-17.
- Eric H. Ma, Poffenberger M. C., Alison H-T Wong, Jones R. G. The role of AMPK in T cell metabolism and function. *Current Opinion in Immunology.* 2017, 46, pp. 45-52.
- Gaber T., Strehl C., Sawitzki B., Hoff P., Buttgerit F. Cellular Energy Metabolism in T-Lymphocytes. *International Reviews of Immunology.* 2015, 34, pp. 34-49.
- Garcia D., Shaw R. J. AMPK: Mechanisms of cellular energy sensing and restoration of metabolic balance. *Molecular Cell.* 2017, 66 (6), pp. 789-800.
- Gerriets V. A., Rathmell J. C. Metabolic pathways in T cell fate and function. *Trends Immunol.* 2012, 33 (4), pp. 168-173.
- Giralt A., Villarroya F. SIRT3, a pivotal actor in mitochondrial functions: metabolism, cell death and aging. *Biochem. J.* 2012, 444, pp. 1-10.
- Giralt A., Hondares E., Villena J. A., et al. Peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1alpha controls transcription of the Sirt3 gene, an essential component of the thermogenic brown adipocyte phenotype. *J. Biol. Chem.* 2011, 286, pp. 16958-16966.
- Hirschey M. D., Shimazu T., Goetzman E., et al. SIRT3 regulates mitochondrial fatty-acid oxidation by reversible enzyme deacetylation. *Nature.* 2010, 464, pp. 121-125.
- Jacobs S. R., Herman C. E., Maciver N. J., et al. Glucose uptake is limiting in T cell activation and requires CD28-mediated Akt-dependent and independent pathways. *J. Immunol.* 2008, 180 (7), pp. 4476-4486.
- Jacobs S. R., Michalek R. D., Rathmell J. C. IL-7 is essential for homeostatic control of T cell metabolism in vivo. *J. Immunol.* 2010, 184 (7), pp. 3461-3469.
- Johnson M. O., Wolf M. M., Madden M. Z., et al. Distinct regulation of Th17 and Th1 cell differentiation by glutamine-dependent metabolism. *Cell.* 2018, 175, pp. 1780-1795.
- Lin L., Hron J. D., Peng S. L. Regulation of NF- κ B, Th activation, and autoinflammation by the forkhead transcription factor Foxo3a. *Immunity.* 2004, 21, pp. 203-213.
- Lochner M., Berod L., Sparwasser T. Fatty acid metabolism in the regulation of T cell function. *Trends Immunol.* 2015, 36 (2), pp. 81-91.
- Maciolek J. A., Pasternak J. A., Wilson H. L. Metabolism of activated T lymphocytes. *Curr. Opin. Immunol.* 2014, 27, pp. 60-74.
- Michalek R. D., Gerriets V. A., Jacobs S. R., et al. Cutting edge: distinct glycolytic and lipid oxidative metabolic programs are essential for effector and regulatory CD4⁺ T cell subsets. *J. Immunol.* 2011, 186, pp. 3299-3303.
- Palmer C. S., Ostrowski M., Balderson B., Christian N., Crowe S. M. Glucose metabolism regulates T cell activation, differentiation, and functions. *Front. Immunol.* 2015, 6, pp. 1-6.
- Pereira C. V., Lebedzinska M., Wieckowski M. R., Oliveira P. J. Regulation and protection of mitochondrial physiology by sirtuins. *Mitochondrion.* 2012, 12, pp. 66-76.
- Qiu X., Brown K., Hirschey M. D., Verdin E., Chen D. Calorie restriction reduces oxidative stress by SIRT3-mediated SOD2 activation. *Cell. Metab.* 2010, 12, pp. 662-667.
- Salmond R. J. mTOR regulation of glycolytic metabolism in T cells. *Front. Cell Dev. Biol.* 2018, 6, p. 122.
- Shi L., Zhang, T., Zhou, Y., et al. Dihydropyridin improves skeletal muscle insulin sensitivity by inducing autophagy via the AMPK-PGC-1 α -Sirt3 signaling pathway. *Endocrine.* 2015, 50, pp. 378-389.
- Tandon P., Gallo C. A., Khatri S., et al. Requirement for ribosomal protein S6 kinase 1 to mediate glycolysis and apoptosis resistance induced by Pten deficiency. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2011, 108 (6), pp. 2361-2365.
- van der Windt G., Pearce E. L. Metabolic switching and fuel choice during T-cell differentiation and memory development. *Immunol. Rev.* 2012, 249 (1), pp. 27-42.
- Wang Z., Zhang L., Liang Y., et al. Cyclic AMP Mimics the anti-ageing effects of calorie restriction by up-regulating sirtuin. *Sci. Rep.* 2015, 5, p. 12012.

Контактная информация:

Зубаткина Ольга Владимировна – доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник лаборатории экологической иммунологии Института физиологии природных адаптаций ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова» Российской академии наук
Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249
E-mail: ozbiochem@gmail.com

ЕСТЕСТВЕННЫЕ АВО АНТИТЕЛА У ЭТНИЧЕСКИХ ГРУПП МОКША И ЭРЗЯ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ

© 2020 г. Л. А. Гусаченко, *О. Г. Литовченко

КУ ХМАО – Югры «Станция переливания крови», г. Сургут;

*БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Изучение естественных антител как функции поддержания иммунологического гомеостаза с позиции физиологической адаптивности популяции является одной из задач популяционной физиологии. Цель работы – исследование активности естественных АВО антител первой, второй, третьей групп крови у этнических групп мокша и эрзя Республики Мордовия. Методы. В одномоментном поперечном исследовании приняли участие случайным образом отобранные в семи районах Республики Мордовия 294 и 387 человек этнических групп мокша и эрзя соответственно. Определение и активность естественных полных АВО антиэритроцитарных антител α (анти-А), β (анти-В) проводили методом титрования. Результаты. Активность естественных антител первой группы крови составляла у мокша от α -1:8 β -1:4 до α -1:128 β -1:64, у эрзя от α -1:2 β -1:2 до α -1:256 β -1:256. Титр естественных β -антител второй группы крови у мокша и эрзя был невысоким. Наиболее распространен титр 1:8, 1:16, 1:32. У женщин высокие титры естественных антител наблюдались: у мокша 1:64, а у эрзя 1:256. Нормальные α -антитела В(III) группы у мокша и эрзя встречались с разными титрами, чаще всего титр 1:8 у мужчин мокша (45,45 %), 1:16 у женщин эрзя – 43,55 %, у мужчин эрзя – 40 %. У женщин наблюдалась повышенная активность антител: 1:128 у мокша – 13,46 %, 1:128 у эрзя – 14,32 % и 1:256 – 3,22 %. Отмечена повышенная активность антител у мужчин эрзя 1:128 – 6,66 % и 1:64 – 20 %, у мокша – 9,09 %. Выводы: физиологически иммунная система у мокша и эрзя активно реагирует выработкой естественных, нормальных групповых антител, что имеет большое значение при изучении физиологической структуры популяции в конкретных условиях среды.

Ключевые слова: мокша, эрзя, группы крови АВО, естественные α (анти-А), β (анти-В) антитела, титрование АВО-антител

NATURAL ABO ANTIBODIES IN MOKSHA AND ERZYA ETHNIC GROUPS OF THE MORDOVIA REPUBLIC

L. A. Gusachenko, O. G. Litovchenko

State Institution of Khanty-Mansi Autonomous Area - Ugra "Blood Transfusion Station", Surgut; *Budgetary Institution of Higher Education of Khanty-Mansi Autonomous Area - Ugra "Surgut State University", Surgut

The study of natural antibodies as a function of maintaining immunological homeostasis from the position of physiological adaptation of a population is one of the goals of population physiology. The aim is to study natural ABO antibodies across blood types among Moksha and Erzya ethnic groups of the Republic of Mordovia. Methods. The cross-sectional study involved 294 and 387 people from Moksha and Erzya ethnic groups, respectively, randomly selected in 7 districts of Mordovia. The determination and activity of natural full ABO anti-erythrocyte antibodies α (anti-A), β (anti-B) was carried out by titration. Results. The activity of natural antibodies of the first blood group in Moksha was from α -1: 8 β -1: 4, to α -1: 128 β -1: 64; in Erzya from α -1: 2 β -1: 2, to α -1: 256 β -1: 256. The titer of natural β -antibodies of the second blood group in Moksha and Erzya was not high. The most common titer was 1:8, 1:16, 1:32. The highest titers of natural antibodies in women were observed: in Moksha 1:64 and in Erzya 1:256. Normal α -antibodies of the B(III) group in Moksha and Erzia met with different titers, most often titer 1:8 was found as in Moksha men (45.45 %), and 1:16 in Erzya women - 43.55 %, in Erzya men - 40 %. An increased activity of antibodies was observed in women: 1:128 in Moksha - 13.46 %, 1:128 in Erzya - 14.32 % and 1:256 - 3.22 %. An increased antibody activity was also observed in Erzya men as 1:128 - 6.66 % and 1:64 - 20 %, in Moksha - 9.09 %. Conclusions. Physiological immune system in Moksha and Erzya actively responds with a production of natural, normal, group antibodies, which are of the great importance in studying of the physiological structure of population in specific environmental conditions.

Key words: Moksha, Erzya, ABO blood groups, natural α (anti-A), β (anti-B)-antibodies, titration of ABO-antibodies

Библиографическая ссылка:

Гусаченко Л. А., Литовченко О. Г. Естественные АВО антитела у этнических групп мокша и эрзя Республики Мордовия // Экология человека. 2020. № 8. С. 26–32.

For citing:

Gusachenko L. A., Litovchenko O. G. Natural ABO Antibodies in Moksha and Erzya Ethnic Groups of the Mordovia Republic. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 8, pp. 26-32.

Собственные антитела α (анти-А) β (анти-В) в сыворотке крови человека обнаруживаются между 3-м и 6-м месяцами после рождения [4, 5] и стимулируются, вероятно, антигеноподобными субстанциями нормальной микрофлоры организма, либо продукцию антител активизирует иммунизация перекрестно реагирующими антигенами животного и растительного

происхождения [6, 7]. Анти-А и анти-В антитела высокоспецифично реагируют с эритроцитами другой группы, при этом человек одной группы антигенно не контактировал с человеком другой, то есть иммунизация в классическом ее виде исключается [18, 19, 20]. Это естественные антитела, которые обнаруживаются в крови в отсутствие явной антигенной

стимуляции [12, 15, 21]. Титр изоантител, достигнув максимального уровня к 10, а по некоторым данным к 20 годам, длительное время находится на постоянном уровне, а к 70–90-летнему возрасту постепенно снижается [11, 14, 16].

Одной из основных функций естественных, нормальных антител системы АВ0 является функция первичного узнавания и создания барьера на пути чужеродных агентов, прежде всего бактерий и вирусов, это – антителозависимый лизис, осуществляемый клетками-киллерами или системой комплемента, вирус-нейтрализация, опсонизация и активация компонентов комплемента, вызывающих положительный хемотаксис макрофагов. Существует способность антител к удалению стареющих клеток и продуктов их распада [4, 13, 20].

Естественные антитела системы АВ0 имеют большое физиологическое значение, по мнению некоторых авторов [3, 5, 7], их функцией является поддержание иммунологического гомеостаза, который осуществляется наличием естественных анти-А, анти-В антител в случае попадания в организм человека иногруппных изоантигенов животного, бактериального, вирусного происхождения. У женщин физиологическое значение части антител можно объяснить необходимостью нейтрализации токсических продуктов, поступающих от плода к матери при гетероспецифической беременности. Изучение механизмов стимуляции продукции антител перекрестно реагирующими антигенами либо антигеноподобными субстанциями в настоящее время остается актуальным [3, 17].

Изучение естественных антител как функции поддержания иммунологического гомеостаза с позиции физиологической адаптированности популяции является одной из задач адаптационной физиологии и экологии, а также оценки экологического своеобразия состояния популяции [1, 2]. Рассмотрение этого ранее малоисследованного аспекта иммунизации представляется особенно важным как для совершенствования прикладной трансфизиологии, так и для установления общих популяционных проявлений антителообразования [3, 6].

Особенности частоты встречаемости естественных антител системы АВ0 у населения Республики Мордовия остаются малоизученными.

Целью настоящего исследования явилось определение особенностей естественных антител системы АВ0 у жителей Республики Мордовия, относящихся к этническим группам мокша и эрзя.

Для достижения поставленной цели нами были определены следующие задачи:

- выявить антитела системы АВ0 у женщин и мужчин этнических групп мокша и эрзя различных районов Республики Мордовия;
- определить титр антител системы АВ0 в обследованных группах;
- определить частоту встречаемости титров естественных антител системы АВ0 в обследованных группах.

Методы

В одномоментном поперечном исследовании приняли участие случайным образом отобранные в семи районах Республики Мордовия 294 и 387 человек этнических групп мокша и эрзя соответственно. Для получения репрезентативной выборки с минимальной вероятностью статистической ошибки нами был обследован 681 житель, относительно здоровый, этническая принадлежность определялась анкетированием и устным опросом. Проведено обследование в Краснослободском, Торбеевском, Ковылкинском, Инсарском (территория расселения мокша), Большеигнатовском, Ардатовском, Дубенском (территории расселения эрзя), Теньгушевском (в этом районе проживает обособленная группа эрзя с шокшинским диалектом эрзянского языка) районах. Нами выбирались исторически сложившиеся территории проживания этих народов, те исконные полуизолированные районы мокша и эрзя, где смешанные браки как между ними, так и с представителями других национальностей минимальны. Всего было обследовано: у мокша – 200 женщин и 94 мужчины, у эрзя – 255 женщин, 132 мужчины в возрасте от 20 до 70 лет. Материалом исследования служила венозная кровь. Обязательным условием включения в обследование было добровольное письменное информированное согласие. Обследование проводилось с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609 ЕС).

Определение титра естественных антител системы АВ0 анти-А (α) анти-В (β) проводили методом титрования на плоскости стандартными эритроцитами 0(I), А(II), В(III) группы, разведением в изотоническом растворе 1:2, 1:4, 1:8 и т. д. [7, 8, 9, 13]. Статистическую значимость различий показателей, выраженных в процентах, вычисляли по методу углового преобразования Фишера. Сравнение проводили между показателями мужчин и женщин мокша, мужчин и женщин эрзя, между мужчинами мокша и эрзя, между женщинами мокша и эрзя. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Полученный цифровой материал обрабатывали с использованием программы MS Excel и STATISTICA 8.0 [10].

Результаты

Нами определялась частота встречаемости групп крови у мужчин и женщин населения Республики Мордовия этнических групп мокша и эрзя (рис. 1).

Среди мужчин мокша был выявлен наиболее высокий процент О(I) группы крови, далее А(II) – 28,72 %, В(III) – 23,4 %, и 13,83 % АВ(IV) группы. Среди женщин мокша на первом месте А(II) группа крови – 35,00 %, на один процент меньше О(I) – 34,00 %, далее В(III) – 26,00 % и всего 5,00 % АВ(IV) группы. Распределение групп крови у мужчин и женщин эрзя одинаково – А(II) > О(I) > В(III) > АВ(IV). Между показателями встречаемости АВ(IV) группы крови у мужчин мокша и женщин мокша ((ф),

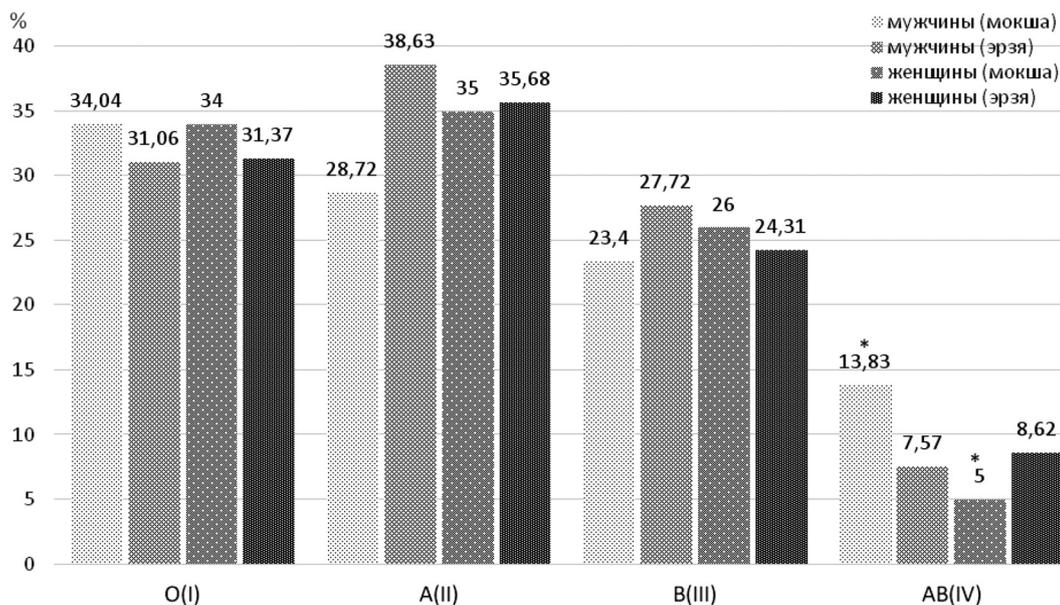


Рис. 1. Частота встречаемости (%) групп крови мокша и эрзя Республики Мордовия
Примечание. * – статистически значимые различия (φ) $p < 0,01$.

$p < 0,01$) были выявлены значимые различия – 13,83 и 5,00 % соответственно.

Нами были изучены естественные групповые антигена системы АВ0 α и β и их титр (рис. 2).

Среди мокша активность естественных антител первой группы крови начиналась с титра α -1:8 β -1:4, низкие титры, такие как 1:2, в обследованной группе не встречались. С самой большой частотой встречались титры α -1:16 β -1:8, у мужчин 28,12 %, у женщин 19,12 % соответственно. Такие титры как α -1:16 β -1:16, α -1:32 β -1:16, α -1:64 β -1:32, определены от 9,37 до 15,62 % случаев. Выявлены повышенные титры α -1:64 β -1:128 у мужчин в 6,25 % случаев; α -1:128 β -1:32 у мужчин в 3,12 %, у женщин в

1,47 % случаев; α -1:128 β -1:64 – у мужчин в 3,12 %, у женщин в 14,71 % случаев.

Анализ титра нормальных антител первой группы крови у эрзя показал, что титр α -1:16 β -1:8 выявлен с самой высокой частотой, а α -1:8 β -1:8, α -1:16 β -1:16, α -1:16 β -1:32, α -1:64 β -1:32 – от 7,50 до 12,19 % случаев (рис. 3). Встречались низкие титры α -1:2 β -1:2 у мужчин эрзя в 2,44 % случаев. Выявлены высокие титры антител α -1:64 β -1:128 в 2,44 и 2,50 % случаев у мужчин и женщин соответственно; α -1:128 β -1:128 у женщин в 1,25 %, у мужчин в 4,88 % случаев, у женщин α -1:128 β -1:64 – в 2,50 %, α -1:128 β -1:32, α -1:256 β -1:256 – в 1,25 % случаев соответственно.

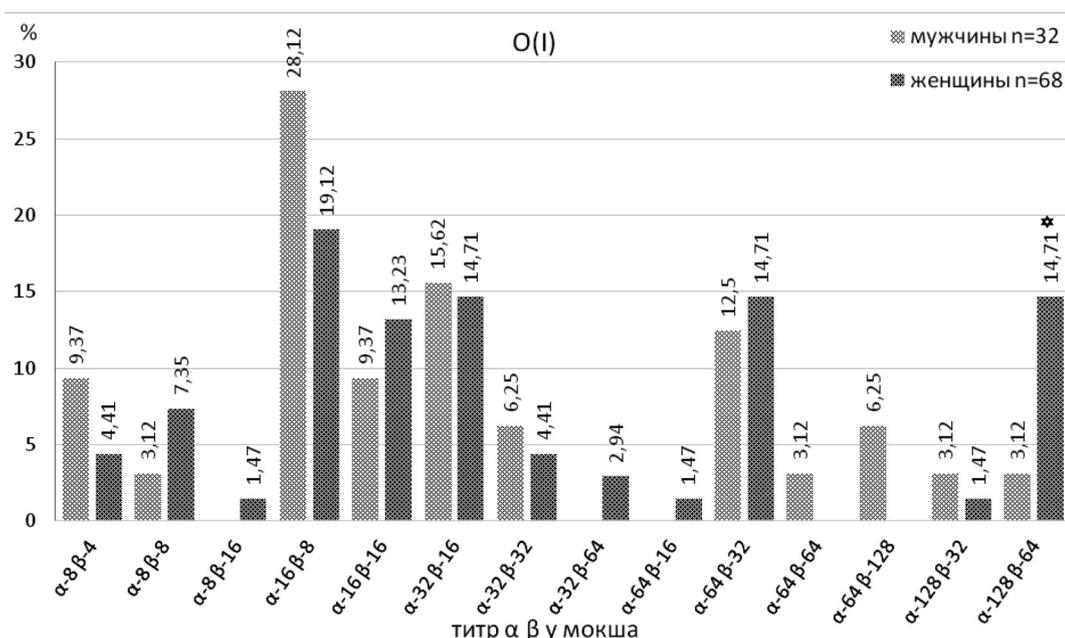


Рис. 2. Частота встречаемости (%) естественных α , β антител O(I) группы крови у мокша Республики Мордовия

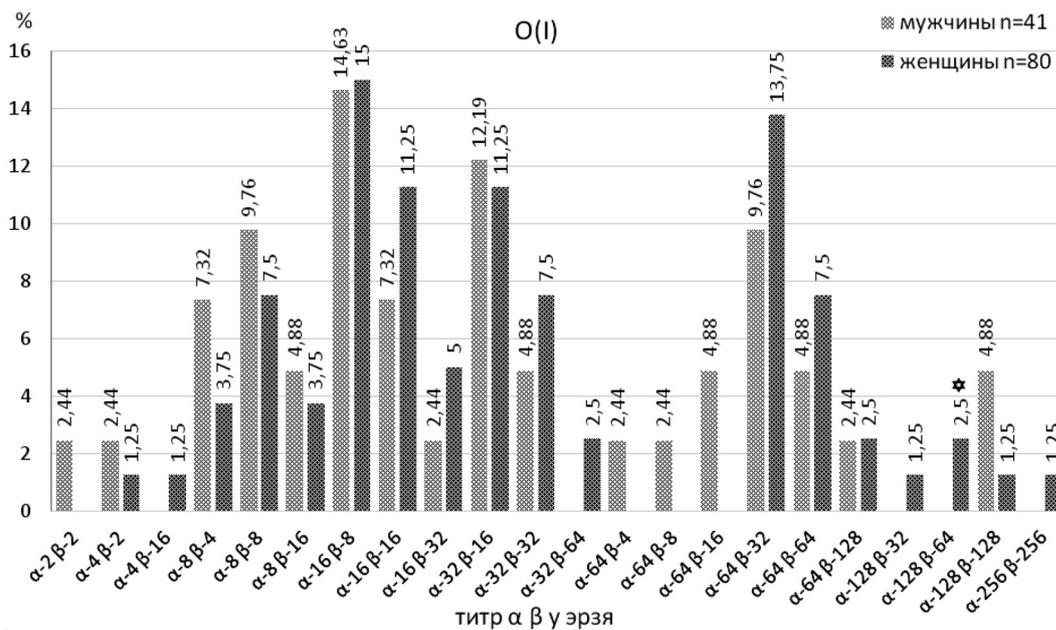


Рис. 3. Частота встречаемости (%) естественных α, β антител O(I) группы крови у эрзя Республики Мордовия
Примечание. — статистически значимые различия между показателями женщин мокша и женщин эрзя (φ) p < 0,01.

Выявлены статистически значимые различия в распределении частоты естественных антител первой группы крови между показателями женщин мокша и женщин эрзя при титре антител α-1:128 β-1:64, что составило 14,71 и 2,50 % соответственно ((φ), p < 0,01).

При исследовании титра естественных антител второй группы крови (рис. 4) было обнаружено, что титр β антител как у мокша, так и у эрзя не высок. Были выявлены низкие титры антител 1:2 у мужчин мокша в 7,41 % случаев, у мужчин эрзя в 3,92 % и у женщин эрзя в 2,19 % случаев. Наиболее распространен титр 1:8, 1:16, 1:32 у мужчин мокша — от 22,22 до 29,63 %, у женщин мокша — от 14,28 до 38,57 %, у мужчин и у женщин эрзя эти титры составили от 12,09 до 37,25 % случаев. Самые высокие титры естественных антител наблюдали у женщин: у мокша 1:64, у эрзя 1:256. Статистически значимых

отличий в распределении естественных β антител второй группы крови в исследованных группах мокша и эрзя Республики Мордовия не выявили.

Естественные α антитела B(III) группы у мокша и эрзя встречались с разными титрами (рис. 5), титры антител начинались с 1:4, у женщин мокша и мужчин эрзя — 7,69 и 10,00 % соответственно. Чаще всего в процентном соотношении выявляли титр 1:8 у мужчин мокша — 45,45 %, 1:16 у женщин эрзя — 43,55 % и немного меньше у мужчин эрзя — 40,00 %. У женщин отмечалась высокая частота повышенной активности антител: у мокша 1:128 — 13,46 %, у эрзя 1:128 — 14,32 % и 1:256 — 3,22 %. Наблюдали повышенную активность антител у мужчин эрзя 1:128 — 6,66 % и 1:64 — 20,00 % (а у мокша — 9,09 %). Были выявлены значимые различия между показателями встречаемости естественных антител системы ABO у мужчин мокша и женщин мокша ((φ), p < 0,01)

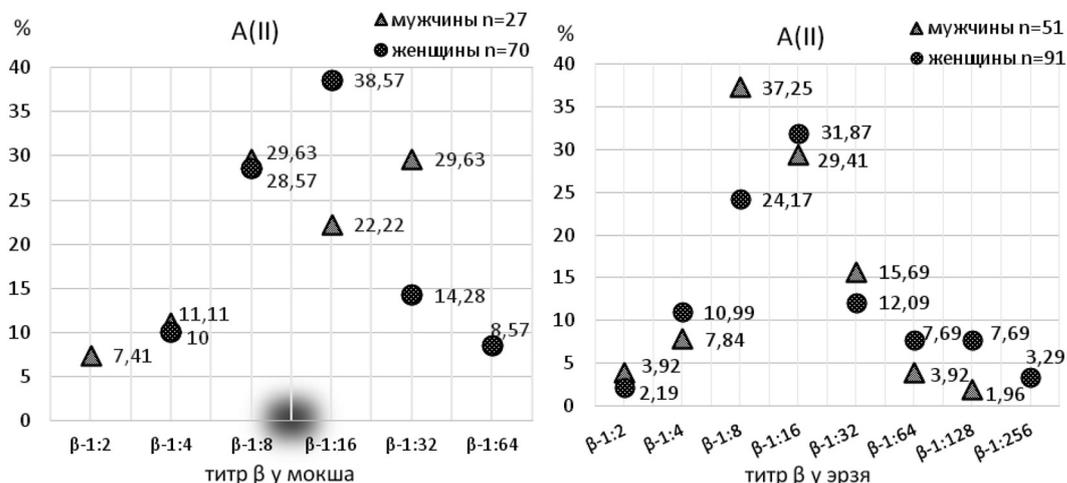


Рис. 4. Частота встречаемости (%) естественных β антител A(II) группы крови у мокша и эрзя Республики Мордовия

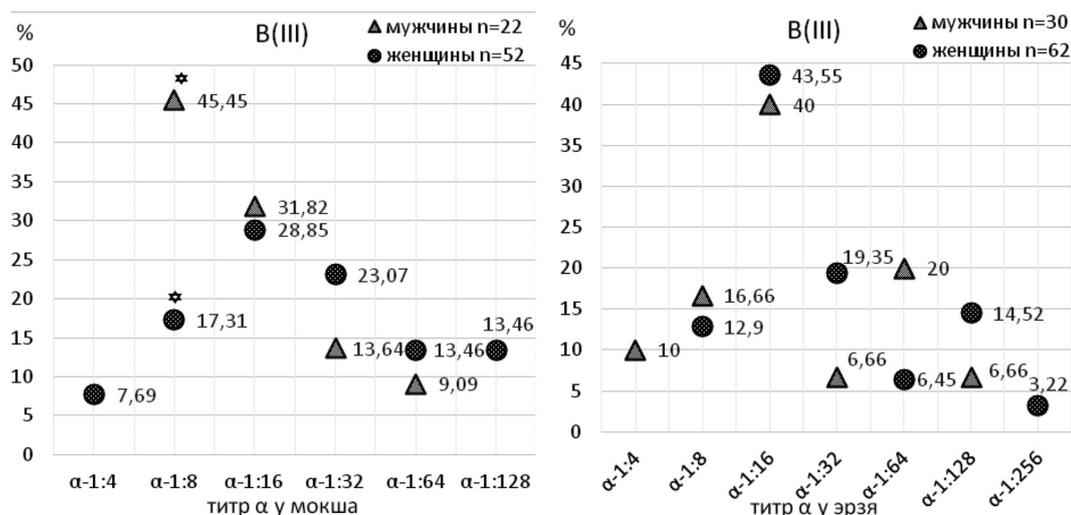


Рис. 5. Частота встречаемости (%) естественных α антител V(III) группы крови у мокша и эрзя Республики Мордовия
Примечание. – статистически значимые различия (φ) p < 0,01.

при титре естественных антител α-1:8, что составило 45,45 и 17,31 % соответственно.

Обсуждение результатов

Исследование аллоиммунизации антигенами эритроцитов имеет значение как изучение глобального популяционного хронобиологического процесса, отличающегося своеобразием в отдельных расах и этнических группах, населяющих различные географические зоны. Изучение этого ранее малоисследованного аспекта аллоиммунизации представляется особенно важным как для совершенствования прикладной трансфизиологии, так и для установления общих по-

пуляционных проявлений антителообразования [5, 9].

Выявленная активность естественных антител первой группы крови у мокша начиналась с титра α-1:8 β-1:4, низкие титры, такие как 1:2, в обследованной группе не встречались. Максимальная активность антител в обследованной группе α-1:128 β-1:64. У эрзя наблюдали 22 варианта титров, встречались как низкие 1:2, так и высокие 1:256 титры антител. Самая большая частота активности титров в диапазоне 1:8–1:32. Титры естественных антител α и β первой группы крови, выявленные у мокша, аналогично были обнаружены у этнической группы эрзя. Те титры, которые добавились к титрам эрзя, были

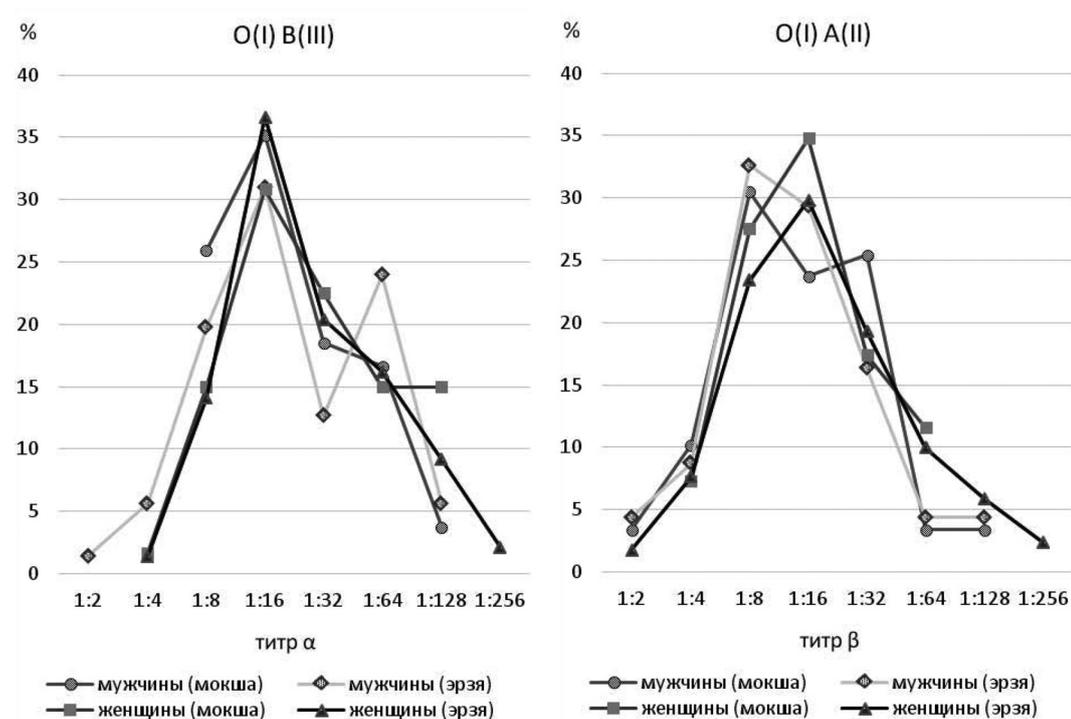


Рис. 6. Частота встречаемости (%) естественных α антител в O(I) и V(III) группах крови, β антител в O(I) и A(II) группах крови у мокша и эрзя Республики Мордовия

выявлены с небольшой частотой — 1,25 и 2,44 %, исключение составили титр у женщин α -1:16 β -1:32, составляющий 5,00 %, и титр у мужчин α -1:128 β -1:128, составляющий 4,88 % случаев.

При анализе естественных АВ0 антител (рис. 6) видно, что α антитела у женщин и мужчин О(І) и В(ІІІ) групп крови чаще встречаются при титре 1:16 в обследованных группах. Повышен процент высокого титра 1:128 у женщин мокша и эрзя, кроме того, у женщин эрзя есть титр 1:256. Антитела β первой и второй группы крови максимально составляли титры 1:8, и как у женщин, так и у мужчин обнаружено значительно меньше 1:16. Такие высокие титры, как 1:128, были обнаружены и у мужчин, и у женщин, а титр 1:256 только у женщин.

У мужчин повышение активности естественных антител системы АВ0 можно объяснить стимуляцией иммунной системы перенесенными инфекциями или экзогенной иммунизацией антигенподобными субстанциями, а у женщин к этим факторам добавляется иммунизация при разногруппной беременности. Этот аспект физиологической структуры крови изучен с точки зрения значения иногруппного переливания, так как анти-А и анти-В антитела реагируют с эритроцитами другой группы, при этом мало изучены происхождение, реакция активности естественных АВ0 антител, которые появляются не в классическом виде иммунизации [12, 15, 18, 19, 20, 21]. Различия в частоте встречаемости естественных АВ0 антител у разных народов мало изучены и, возможно, имеют какое-либо другое значение кроме клинической трансфузиологии. Рассмотренные нами уровни физиологических показателей крови принимают участие в процессах антителообразования и характеризуют отдельные свойства организма. Выявление иммуногематологических особенностей, присущих тем или другим этническим группам, представляет большой интерес для решения проблемы происхождения этих признаков.

В связи с этим весьма перспективно изучение региональной специфики распределения групп крови, аллоиммунизации с позиций экологической иммунологии, этнического полиморфизма в пределах определенной административной территории.

Изучение естественных, нормальных антител позволяет установить различие или сходство отдельных физиологических показателей и физиологического статуса популяций в целом.

Таким образом, физиологически иммунная система у мокша и эрзя вырабатывает естественные, нормальные групповые антитела, что имеет большое значение при изучении физиологической структуры популяции в конкретных условиях среды.

С точки зрения трансфузиологии, иммуногематологии, популяционной физиологии процесс антителообразования в отдельных этнических группах требует дополнительного изучения, так как распределение популяций на территории Российской Федерации разнообразно, а аллоиммунизация антигенами эритроцитов мало изучена.

Авторство

Гусаченко Л. А. внесла вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, подготовила первый вариант статьи; Литовченко О. Г. участвовала в анализе данных, подготовила первый вариант статьи, окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись.

Гусаченко Людмила Александровна — ORCID 0000-0002-1641-9856; SPIN 5855-6368

Литовченко Ольга Геннадьевна — ORCID 0000-0002-8368-2590; SPIN 5908-4625

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Макарова И. И. Этнический аспект адаптационной физиологии и заболеваемости населения // Экология человека. 2014. № 3. С. 3—13.
2. Гудкова Л. К. Популяционная физиология человека: традиционные подходы и новые возможности // Археология, этнография и антропология Евразии. 2009. № 2 (38). С. 144—152.
3. Донсков С. И., Уртаев Б. М., Дубинкин И. В. Новая тактика гемотрансфузионной терапии — от совместимости к идентичности: руководство для специалистов производственной и клинической трансфузиологии. М.: БИНОМ, 2015. 270 с.
4. Зотиков Е. А. Антигены форменных элементов крови и антитела к ним // Клиническая лабораторная диагностика. 1999. № 12. С. 25—30.
5. Косяков П. Н. Изоантигены и изоантитела человека в норме и патологии. М.: Медицина, 1974. 360 с.
6. Липатова И. С. Аллоиммунизация групповыми антигенами эритроцитов (индивидуальные и популяционные особенности): автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2009. 26 с.
7. Меркулова Н. Н. Распространенность, физиологические и иммуносерологические особенности естественных и иммунных групповых антител системы АВ0 у жителей Среднего Приобья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, Тюмень, 1999. 35 с.
8. Минеева Н. В. Группы крови человека. Основы иммуногематологии. СПб., 2004. 188 с.
9. Об утверждении инструкций по иммуносерологии: Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации № 2 от 9 января 1998 г. С. 180—186.
10. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера, 2006. 312 с.
11. Трансфузиология: национальное руководство / под ред. Рагимова А. А. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 1104 с.
12. Хасбиуллина Н. Р., Бовин Н. В. Гипотезы о происхождении естественных антител: взгляд гликобиолога // Биохимия. 2015. № 7 (80). С. 980—997.
13. Хромова Е. А. Иммуносерологические особенности крови аборигенов Среднего Приобья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2003. 22 с.
14. Bowman I. M. Treatment options for the fetus with alloimmune hemolytic disease // Transfus. Med. Rev. 1990. Vol. 4. P. 191—207.
15. Cohen I. Autoantibody repertoires, natural biomarkers and system controllers // Trends Immunol. 2013. Vol. 34. P. 620—625.
16. Daniels G. Human blood groups, 3rd ed. Blackwell Science, Oxford, 2003. P. 554.
17. Golovkina L. I., Stremoukhova A., Vasilieva M., Pushkina T., Atroschenko G., Kalandarov R., Khasigova B.,

Surin V., Pshenichnikova O., Salomashkina V., Parovichnikova E. ABO*A and RHD variants in Russians // *Vox Sanguinis*. 2017. Vol. 112. Spl. 1. P. 218.

18. Guilbert B., Digheiro G., Avrameas S. Naturally occurring antibodies against nine common antigens in human sera // *J. Immunol.* 1982. Vol. 128. P. 2779–2787.

19. Hayakawa K., Hardy R. R. Development and function of B-1 cells // *Curr. Opin. Immunol.* 2000. Vol. 12. P. 346–353.

20. Lutz H. U. Naturally occurring antibodies (NABs) // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2012. Vol. 750, vii–x. P. 267.

21. Zhou Z. H., Tzioufas G. A., Notkins A. L. Properties and function of polyreactive antibodies and polyreactive antigen binding B Cells // *J. Autoimmun.* 2007. Vol. 29. P. 219–228.

References

1. Agadzhanyan N. A., Makarova I. I. The ethnic aspect of adaptive physiology and morbidity of the population. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 3, pp. 3-13. [In Russian]

2. Gudkova L. K. Human population physiology: traditional approaches and new opportunities. *Arkheologiya, etnografiya i antropologiya Evrazii* [Archeology, Ethnography and Anthropology of Eurasia]. 2009, 2 (38), pp. 144-152. [In Russian]

3. Donskov S. I., Urtaev B. M., Dubinkin I. V. *Novaya taktika gemotransfuzionnoi terapii - ot sovmestimosti k identichnosti. Rukovodstvo dlya spetsialistov proizvodstvennoi i klinicheskoi transfuziologii* [A new tactic for blood transfusion therapy is from compatibility to identity. Guide for specialists in industrial and clinical transfusiology]. Moscow, 2015, 270 p.

4. Zotikov E. A. Antigens of blood cells and antibodies to them. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Clinical laboratory diagnostics]. 1999, 12, pp. 25-30. [In Russian]

5. Kosyakov P. N. *Izoantigeny i izoantitela cheloveka v norme i patologii* [Human isoantigens and isoantibodies are normal and pathological]. Moscow, 1974, 360 p.

6. Lipatova I. S. *Alloimmunizatsiya gruppovymi antigenami eritrotsitov (individual'nye i populyatsionnye osobennosti) (avtoref. cand. diss.)* [Alloimmunization with group antigens of red blood cells (individual and population characteristics). Author's Abstract of Cand. Diss.]. Moscow, 2009, 26 p.

7. Merkulova N. N. *Rasprostranennost', fiziologicheskie i immunoserologicheskie osobennosti estestvennykh i immunnykh gruppovykh antitel sistema ABO u zhitelei Srednego Priob'ya (avtoref. cand. diss.)* [The prevalence, physiological and immunoserological features of natural and immune group antibodies of the ABO system in residents of the Middle Ob region. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Moscow, Tyumen, 1999, 35 p.

8. Mineeva N. V. *Gruppy krovi cheloveka. Osnovy immunogematologii* [The blood group of person. Basics of immunohematology]. Saint Petersburg, 2004, 188 p.

9. *About the statement of the instruction on immunoserology*. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation N 2 of January 9, 1998, pp. 180-186.

10. Rebrova O. Yu. *Statisticheskii analiz meditsinskikh dannykh Primenenie paketa prikladnykh programm* [Statistical analysis of medical data. Application of the STATISTICA application package]. Moscow, 2006, 312 p.

11. *Transfuziologiya: natsional'noe rukovodstvo* [Transfusiology: national leadership], ed. Ragimov A. A. Moscow, 2018, 1104 p.

12. Khasbiullina N. R., Bovin N. V. Hypotheses of the origin of natural antibodies: a glycobiochemist's opinion. *Biokhimiya* [Biochemistry]. 2015, 7 (80), pp. 980-997. [In Russian]

13. Khromova E. A. *Immunoserologicheskie osobennosti krovi aborigenov Srednego Priob'ya (avtoref. cand. diss.)* [Immunoserological features of blood of Aboriginal people of the Middle Ob region. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Tyumen, 2003, 22 p.

14. Bowman I. M. Treatment options for the fetus with alloimmune hemolytic disease. *Transfus. Med. Rev.* 1990, 4, pp. 191-207.

15. Cohen I. Autoantibody repertoires, natural biomarkers, and system controllers. *Trends Immunol.* 2013, 34, pp. 620-625.

16. Daniels G. *Human blood groups*. 3rd ed. Blackwell Science, Oxford, 2003, 554 p.

17. Golovkina L. I., Stremoukhova A., Vasileva M., Pushkina T., Atroschenko G., Kalandarov R., Khasigova B., Surin V., Pshenichnikova O., Salomashkina V., Parovichnikova E. ABO*A and RHD Variants in Russians. *Vox Sanguinis*. 2017, 112 (1), 218 p.

18. Guilbert B., Digheiro G., Avrameas S. Naturally occurring antibodies against nine common antigens in human sera. *J. Immunol.* 1982, 128, pp. 2779-2787.

19. Hayakawa K., Hardy R. R. Development and function of B 1 cells. *Curr. Opin. Immunol.* 2000, 12, pp. 346-353.

20. Lutz H. U. Naturally occurring antibodies (NABs). *Adv. Exp. Med. Biol.* 2012, 750, vii-x, p. 267.

21. Zhou Z. H., Tzioufas G. A., Notkins A. L. Properties and function of polyreactive antibodies and polyreactive antigen-binding B Cells. *J. Autoimmun.* 2007, 29, pp. 219-228.

Контактная информация:

Гусаченко Людмила Александровна – аспирант кафедры физиологии медицинского института БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет», биолог лаборатории иммунологических исследований КУ «Станция переливания крови» г. Сургут

Адрес: 628405, Тюменская область, ХМАО – Югра, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

E-mail: LA264648@mail.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ УЧАЩИХСЯ ПО ПРОФЕССИИ ТОКАРЬ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ

© 2020 г. О. В. Киёк, В. М. Покровский

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Краснодар

Цель – изучить функциональное состояние учащихся по вариабельности ритма сердца (ВРС), лабильности зрительного анализатора, физической работоспособности, психоэмоциональному состоянию в начале и в конце производственной практики. *Методы.* В когортное исследование включили 30 учащихся-токарей, разделенных в соответствии с психологическими типами личности по Айзенку и согласно теории Стрелю на группы: более адаптированные (1-я группа) и менее адаптированные (2-я группа). Измерения проводили в начале и в конце производственной практики. Оценивали ВРС, физическую работоспособность, лабильность зрительного анализатора, психоэмоциональное состояние. *Результаты.* Изменения ВРС оказались более выраженными у менее адаптированных лиц: общая мощность спектра после производственной практики уменьшилась на 69,0 % в 1-й группе и на 84,7 % во 2-й; индекс напряжения увеличился на 19,9 % в 1-й группе и на 90,9 % во 2-й. Гуморально-метаболические механизмы регуляции в большей степени увеличились у более адаптированных учащихся: относительное значение мощности волн низкой частоты изменилось на 92,7 % в 1-й группе и на 45,0 % во 2-й. Критическая частота слияния световых мельканий в начале и в конце производственной практики составила соответственно $(44,5 \pm 0,6)$ и $(43,4 \pm 0,5)$ Гц ($p > 0,05$), сила мышц кисти – $(44,7 \pm 0,4)$ и $(45,0 \pm 0,4)$ кг ($p > 0,05$). После производственной практики самочувствие студентов по шкале САН снижалось с $(5,6 \pm 0,3)$ до $(4,1 \pm 0,2)$ балла ($p < 0,001$), на 27 %. Активность уменьшалась с $(5,5 \pm 0,2)$ до $(4,2 \pm 0,2)$ балла ($p < 0,001$), на 24 %. Настроение снижалось с $(5,4 \pm 0,1)$ до $(4,7 \pm 0,2)$ балла ($p < 0,001$), на 13 %. *Вывод:* при оценке влияния производственных факторов на организм учащихся во время прохождения производственной практики необходимо учитывать их адаптивные возможности.

Ключевые слова: обучающиеся рабочей специальности токарь, производственная практика, вариабельность ритма сердца

THE FUNCTIONAL STATE OF TURNER STUDENTS DURING THE APPRENTICESHIP

O. V. Kiyok, V. M. Pokrovskii

Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

The aim was to study the functional state of students in terms of their heart rhythm variability, lability of visual analyzers, physical capabilities and psycho-emotional state at the beginning and at the end of the apprenticeship. *Methods:* Altogether, 30 students training as turners were enrolled in a cohort and divided into more adapted (group 1) and less adapted (group 2) groups, according to the Eysenck's psychological types of personality and to Strelau's theory. Measurements were performed at the beginning and at the end of the apprenticeship. Heart rhythm variability, physical capabilities, the lability of the visual analyzer, and the psycho-emotional state were reassessed before and after the apprenticeship. *Results:* Less adapted individuals had more pronounced changes in heart rhythm variability: the decrease in the total spectrum power (SP) to 69,0 % in group 1 and to 84,7 % in group 2; the stress index (SI) at the end of the apprenticeship increased to 19.9 % in group 1 and to 90.9 % in group 2. The humoral-metabolic regulation mechanisms increased to a greater extent in more adapted students: the relative value of the low-frequency waves power VLF% changed by 92.7 % in group 1 and by 45.0 % in group 2. The critical flicker fusion frequency at the beginning and at the end of the apprenticeship was 44.5 ± 0.6 Hz, 43.4 ± 0.5 Hz ($p > 0,05$), respectively, and the hand power 44.7 ± 0.4 kg and 45 ± 0.4 kg ($p > 0,05$). After the apprenticeship, students' state of health according to the SAN scale decreased by 27 % from 5.6 ± 0.3 points to 4.1 ± 0.2 ($p < 0.001$); their activity decreased from 5.5 ± 0.2 points to 4.2 ± 0.2 ($p < 0.001$) to 24 %; their mood decreased by 13 % from 5.4 ± 0.1 points to 4.7 ± 0.2 ($p < 0.001$). *Conclusion:* it is necessary to take into account students' adaptive capabilities when assessing the impact of production factors on the body during the apprenticeship.

Key words: students training working specialty turner, apprenticeship, heart rhythm variability

Библиографическая ссылка:

Киёк О. В., Покровский В. М. Функциональное состояние учащихся по профессии токарь при прохождении производственной практики // Экология человека. 2020. № 8. С. 33–39.

For citing:

Kiyok O. V., Pokrovskii V. M. The Functional State of Turner Students During the Apprenticeship. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 8, pp. 33-39.

Экономический подъем, который наблюдается в настоящее время в России, связан с активным развитием промышленности практически во всех отраслях, в том числе и в машиностроительном секторе, доля которого для обеспечения национальной экономической безопасности должна составлять не менее 30 % всего промышленного производства при существующих 15–20 %. Одним из условий

выполнения поставленной задачи является подготовка квалифицированных рабочих, среди которых профессия станочник в металлообработке (токарь) входит в Топ-50 наиболее востребованных специальностей в России [5].

Высокие темпы модернизации производства, внедрение новых технологий внесли существенный вклад в изменение компетенций, которыми должен владеть

станочник в металлообработке для выполнения профессиональных задач: математические, технические, технологические знания; умение производить расчеты и читать чертежи, обладать оперативным мышлением, четкой координацией движений. Освоение профессиональных компетенций происходит непосредственно на производственной практике, которая может проходить как на базовых предприятиях (заводах) так и в учебно-производственных мастерских образовательных учреждений.

По данным литературных источников [4], при работе на станках различного профиля станочник в металлообработке подвергается воздействию неблагоприятных профессионально-производственных факторов, которые могут негативно сказаться на состоянии здоровья: шуму от работающих станков, вибрации, запыленности воздуха рабочей зоны, недостаточной освещенности, наличию блёскости, тяжести трудового процесса (рабочая поза «стоя»). При прохождении производственной практики учащиеся также могут подвергаться воздействию этих факторов. В связи с этим вопросам подготовки специалистов по профессии станочник в металлообработке (токарь) должно уделяться пристальное внимание не только с позиции профессионализма, но и позиции сохранения здоровья обучающихся.

Известно, что адаптивные возможности индивидуальны и генетически predeterminedены, поэтому персонализированные исследования по изучению влияния условий обучения представляют значительный научный интерес. Поскольку система кровообращения задействована в реализации процессов адаптации организма к внешним воздействиям, физическим и умственным нагрузкам, одним из показателей, отражающих функциональные изменения в организме при обучении, а также при выполнении трудовых операций в различных условиях, является вариабельность ритма сердца (ВРС) [2, 13, 18]. Анализ ВРС позволяет оценить состояние механизмов регуляции (нейрогуморальной регуляции, соотношение симпатического и парасимпатического отделов в процессах регуляции) [10, 12, 17]. Результаты исследования могут быть использованы для научного обоснования механизмов адаптации учащихся к различным условиям в процессе трудового обучения. В связи с этим целью исследования явилось изучение функционального состояния учащихся по специальности станочник в металлообработке (токарь) в начале и в конце производственной практики. Для решения поставленной цели нами были выполнены следующие задачи: изучены особенности профессии и организации производственной практики по специальности станочник в металлообработке (токарь), проведена оценка ВРС учащихся до и после производственной практики, изучено функциональное состояние органов, подверженных наибольшей нагрузке, обусловленной спецификой выбранной специальности.

Методы

Когортное исследование проведено на здоровых юношах, обучающихся по профессии станочник в металлообработке (токарь) в учреждении среднего профессионального образования (УСПО), в возрасте 18–19 лет ($n = 30$). Исследования проводили в начале (сентябрь 2019) и в конце (ноябрь 2019) производственной практики. Все юноши на тот момент были здоровы в течение месяца, не имели жалоб, за медицинской помощью не обращались, медицинские препараты не принимали.

Занятия по производственной практике организованы в соответствии с учебным планом на базе учебно-производственных мастерских, расположенных на территории УСПО. Продолжительность практики, чередование дней теоретических и практических занятий соответствуют методическим и санитарно-эпидемиологическим рекомендациям: через каждые три дня практики проводятся два дня теоретических занятий продолжительностью по 6 часов в день при шестидневной учебной неделе.

Обучение трудовым навыкам учащихся по профессии токарь осуществляется на универсальных и специализированных станках. Работа выполняется стоя или сидя. Рабочие места оборудованы деревянными подставками, что позволяет подобрать станок по росту, а наличие откидных сидений обеспечивает возможность смены рабочей позы в процессе занятий.

При прохождении производственной практики учащиеся выполняют «строповку» груза, его перемещение, токарную обработку, «расточку», сверление деталей, нарезание резьбы. Перед тем как приступить к обработке деталей на станках, учащиеся работают по чертежам, проводят расчеты, составляют эскизы, определяют режим и порядок резания и обработки деталей. Кроме того, в ходе выполнения работы учащиеся должны постоянно контролировать параметры обрабатываемых деталей в соответствии с заданием.

Для определения психологических типов личности применили тесты по Айзенку [1]. Затем согласно теории Я. Стреляу [8] и в соответствии с психологическими типами личности учащиеся были поделены на две группы: более (сангвиники, флегматики) и менее (холерики, меланхолики) адаптированные. Это позволило оценить ВРС с учетом психологических типов личности, генетически predeterminedенных и обуславливающих адаптивные возможности учащихся.

У испытуемых с их информированного согласия на компьютерном электрокардиографе «ВНС-Микро» фирмы «Нейрософт» проводили исследования вариабельности ритма сердца [7]. Методика регистрации ВРС заключалась в том, что на верхние и нижние конечности пациентов накладывались неполяризующиеся мягкие электроды «прищепки» с площадью поверхности 2 см². Перед наложением электродов кожу протирали спиртом, обезжиривали эфиром, на электроды наносили гель. Электроды помещали на внутреннюю сторону конечности для исключения

попадания волосяного покрова. Регистрацию осуществляли в течение пяти минут — записывали ЭКГ в трех стандартных отведениях по Эйтховену. Компьютерная программа на экране монитора отображала регистрируемые параметры в числовых значениях, строила ритмограмму, гистограммы, спектрограммы и скатограммы. Оценивала ВРС с помощью статистики и вариационной пульсометрии (стандартный эффект регуляции, функция автоматизма, степень адаптации, суммарное заключение); с помощью спектрального и временного анализа (анализ волновой структуры ритма, класс ритмограммы, активность подкорковых нервных центров, стресс-резистентность) и с помощью интегральных показателей (анализ контуров регуляции сердечного ритма, суммарная оценка регуляторных систем).

В дальнейшей работе нами были учтены результаты статистического анализа ВРС: D (дисперсия) — среднее из отклонений индивидуальных значений признака, возведенных в квадрат от средней величины, показатель которой свидетельствует об уменьшении вариабельности; σ (с) сигма — среднее квадратичное отклонение (увеличение данного показателя указывает на ваготонию, а снижение — на симпатикотонию) и V% — коэффициент вариации. По спектральному анализу определяли общую мощность спектра TP (mc^2), свидетельствующую об адаптивных возможностях, а также оценивали относительное значение мощности волн высокой частоты HF%, относительное значение мощности волн низкой частоты LF% и относительное значение мощности волн очень низкой частоты VLF%, отражающих соответственно активность парасимпатического, симпатического отделов и активность центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции сердечного ритма.

С помощью временного анализа определяли rMSSD (мс) — квадратный корень суммы разностей последовательных R-R интервалов, который отражает способность синусного узла к концентрации сердечного ритма, и чем показатель больше, тем больше вариабельность. Также обращали внимание на процентную представленность эпизодов различия последовательных интервалов более чем на 50 мс — PNN50%.

Вариационная пульсометрия позволила оценить преобладание симпатикотонии или ваготонии по таким показателям, как M_0 мода — наиболее часто встречающееся значение R-R (при симпатикотонии M_0 минимальна, при ваготонии — максимальна) и AM_0 (%) — амплитуде моды. Кроме того, оценивали индекс напряжения регуляторных систем ИН, который отражает степень централизации управления сердечным ритмом.

Для оценки психоэмоционального состояния учащихся до и после производственной практики использовали тест САН (самочувствие, активность, настроение). В ходе анкетирования учащиеся отвеча-

ли на тридцать вопросов. Результаты анкетирования оценивались с применением трех шкал: самочувствие (сила, здоровье, утомление), активность (отражение подвижности, скорости и темпа протекания функций), настроение (характеристики эмоционального состояния). Они на 7-балльной шкале отмечали то место, которое в наибольшей степени отражало их состояние. При этом 1 балл соответствовал худшему состоянию 7 баллов — лучшему [3].

Подвижность нервных процессов в зрительном анализаторе оценивали по критической частоте слияния световых мельканий — КЧССМ. Исследуемому подавали серию световых сигналов, скорость которых изменяли с помощью потенциометра. За минимальную частоту принималась та частота мельканий, при которой сигнал воспринимался как непрерывный [2].

Для оценки работоспособности и утомления нервно-мышечного аппарата исследовали максимальную произвольную силу мышц кисти кистевым динамометром. Исследуемый максимально плавно сжимал пружины динамометра вытянутой рукой. Максимальное воздействие удерживалось 1–2 секунды, фиксировался максимальный результат после трехкратного измерения. Измерения проводили в начале производственной практики (сентябрь) и в конце (ноябрь).

Полученные результаты систематизировались в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2007. Статистический анализ проводили с использованием программы STATISTICA 6,0 (StatSoft. Inc. USA). Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению, для этого использовали критерий Шапиро — Уилка (так как число исследуемых в выборках было менее 50). Для описания количественных данных, имеющих нормальное распределение, проводился расчет средних арифметических величин (M), стандартных отклонений (SD), стандартной ошибки среднего арифметического (m). При сравнении средних показателей, рассчитанных для связанных выборок (значения показателя до практики и после практики), при условии нормальности распределения в сравниваемых группах использовали парный t-критерий Стьюдента. Различия показателей считались статистически значимыми при $p < 0,05$ [9].

Процедура исследования проведена в соответствии со стандартами Хельсинкской декларации и Положением о независимом Этическом комитете при ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России. Заключение этического комитета на проведение исследования имеется (протокол № 73 от 19. 01. 2019).

Результаты

Результаты исследования ВРС учащихся, поделенных на две группы в зависимости от адаптированности, предопределенной психологическими типами личности на более (сангвиники, флегматики) и менее (холерики, меланхолики) адаптированные [1, 8], представлены в таблице.

Параметры variability ритма сердца у учащихся-токарей с наибольшей и наименьшей адаптацией до и после производственной практики

Показатель	Более адаптированные		Менее адаптированные	
	n = 15	n = 15	n = 15	n = 15
	До практики	После	До практики	После
Статистический анализ				
D:				
M	0,010215	0,003293	0,004000	0,000587
± m	0,000827	0,000096	0,000172	0,000027
SD	0,0032	0,00037	0,00066	0,0001
		p < 0,001		p < 0,001
σ(c):				
M	0,081	0,05421	0,04344	0,01907
± m	0,00476	0,0009	0,00279	0,00051
SD	0,0184	0,00348	0,0108	0,00197
		p < 0,001		p < 0,001
V%:				
M	9,00	6,21	5,31	2,60
± m	0,49	0,10	0,31	0,06
SD	1,897	0,387	1,2	0,232
		p < 0,001		p < 0,001
Временной анализ				
rMSSD(мс):				
M	96,46	60,71	49,06	15,87
± m	7,13	1,79	3,42	0,68
SD	27,614	6,932	13,245	2,63
		p < 0,001		p < 0,001
PNN50%:				
M	15,62	14,50	49,06	15,87
± m	0,45	0,28	3,42	0,68
SD	1,7428	1,146	13,2456	2,63
		p > 0,05		p < 0,001
Вариационная пульсометрия				
Mo:				
M	5,77	3,93	4,56	3,53
± m	0,29	0,21	0,28	0,21
SD	1,123	0,813	1,084	0,813
		p < 0,001		p < 0,001
AMo (%):				
M	68,54	62,50	70,00	81,67
± m	1,39	1,01	1,24	0,96
SD	5,383	3,91	4,802	3,718
		p < 0,001		p < 0,001
ИИ:				
M	158,08	189,64	542,31	1035,33
± m	2,26	4,55	38,7	49,23
SD	8,75	17,62	147,83	190,66
		p < 0,001		p < 0,001
Спектральный анализ				
TP (мс ²):				
M	8453,31	2614,79	3405,94	517,80
± m	126,58	75,61	131,61	22,67
SD	489,89	292,836	506,97	87,8
		p < 0,001		p < 0,001
HF%:				
M	50,23	40,14	40,63	19,80
± m	0,85	0,90	1,04	0,67
SD	3,292	3,48	4,0279	2,59
		p < 0,001		p < 0,001
LF%:				
M	32,00	26,86	18,69	20,07
± m	0,6	0,76	0,65	0,68
SD	2,32	2,943	2,517	2,63
		p < 0,001		p > 0,05
VLF%:				
M	17,85	34,14	41,69	60,47
± m	0,51	1,00	1,13	0,94
SD	1,975	3,8729	4,37	3,64
		p < 0,001		p < 0,001

Примечание. p рассчитан с помощью парного критерия Стьюдента.

Как показывают результаты исследования, в обеих исследуемых группах в выявленных изменениях тонуса вегетативной нервной системы имеются различия. Необходимо отметить, что эти изменения в большей степени выражены в группе менее адаптированных учащихся. Об этих различиях свидетельствуют: D (дисперсия), которая уменьшалась в группе более и менее адаптированных учащихся соответственно на 67,8 и 85,4 %, и σ MSSD — уменьшался на 37,0 и 67,7 % соответственно. Также выявлены различия в изменениях TP — уменьшение происходило на 69,0 % у более адаптированных и на 84,7 % у менее адаптированных учащихся. Показатели, свидетельствующие о симпатическом влиянии, изменились следующим образом: σ уменьшилась у наиболее адаптированных учащихся на 33,1 %, у менее адаптированных — на 56,1 %; V% — на 31,0 % у более адаптированных и на 48,9 % у менее адаптированных учащихся. Индекс напряжения увеличился после производственной практики в обеих исследуемых группах также в различной степени: на 19,9 % в группе более адаптированных и на 90,9 % в группе менее адаптированных учащихся. Относительное значение VLF% изменилось на 92,7 % в группе более адаптированных и на 45,0 % в группе менее адаптированных).

Кроме того, были проведены исследования функционального состояния органов и систем, испытывающих наибольшую нагрузку при прохождении производственной практики учащимися. По КЧССМ определили лабильность в корковом отделе зрительного анализатора до производственной практики и после нее. Значения этого показателя статистически значимо не изменились и не выходили за пределы нормы (14–70 Гц). До производственной практики КЧССМ составляла $(44,5 \pm 0,6)$ Гц, а после нее $(43,4 \pm 0,5)$ Гц ($p > 0,05$).

После производственной практики не было также статистически значимых изменений силы мышц кисти учащихся, определяемой кистевым динамометром (до практики $44,7 \pm 0,4$ кг, после — $45,0 \pm 0,4$ кг ($p > 0,05$)).

После производственной практики самочувствие студентов по шкале САН снижалось с $(5,6 \pm 0,3)$ до $(4,1 \pm 0,2)$ балла ($p < 0,001$), на 27 %. Активность уменьшалась с $(5,5 \pm 0,2)$ до $(4,2 \pm 0,2)$ балла ($p < 0,001$), на 24 %. Настроение снижалось с $(5,4 \pm 0,1)$ до $(4,7 \pm 0,2)$ балла ($p < 0,001$), на 13 %.

Обсуждение результатов

При выполнении трудовых операций во время прохождения производственной практики на учащихся по профессии станочник в металлообработке (токарь) воздействуют специфические для этой профессии факторы: шум, напряжение со стороны зрительного анализатора, умственная и физическая нагрузки.

Воздействие этих факторов приводит к функциональному напряжению со стороны жизненно важных органов, которое можно оценить посредством ВРС как одного из интегральных показателей, отражающих

механизмы сердечной регуляции на всех его уровнях [11, 14, 19]. Анализ ВРС с помощью статистического, спектрального, временного анализа и вариационной пульсометрии позволил оценить степень вариабельности сердечного ритма, активность симпатического и парасимпатического отделов, активность центральных эрготропных и гуморально-метаболических механизмов регуляции сердечного ритма, напряжение регуляторных систем и адаптивные возможности учащихся в условиях производственного обучения.

По данным ВРС у учащихся по специальности станочник в металлообработке после производственной практики уменьшается ВРС, отмечается увеличение симпатического влияния и гуморально-метаболических механизмов регуляции, напряжение регуляторных систем, что указывает на снижение адаптационных возможностей.

Деление на группы в соответствии с типами личности по Айзенку и согласно с теорией Я. Стрелюя позволило нам выявить различия ВРС у более адаптированных (сангвиники, флегматики) и менее адаптированных (холерики, меланхолики) учащихся. Так, увеличение симпатического влияния наблюдалось в обеих группах, однако у более адаптированных лиц эти изменения были выражены после практики в меньшей степени, чем у менее адаптированных. Это свидетельствует о разной степени мобилизации функциональных резервов организма учащихся с различными адаптивными возможностями в ответ на воздействие факторов производственного обучения. Понижение общей мощности спектра, свидетельствующее о напряжении механизмов регуляции, наблюдалось в обеих группах, однако в группе менее адаптированных учащихся это напряжение было максимальным.

Существенное увеличение ИН в группе учащихся, относящихся к менее адаптированным психологическим типам личности, также свидетельствует о значительном снижении у них адаптационных возможностей.

Увеличение волны очень низкой частоты после прохождения производственной практики отражает напряжение со стороны энергетических и метаболических процессов в сердечной мышце, напряжение со стороны компенсаторной способности автономных центров симпатической и парасимпатической регуляции.

Анализ психоэмоционального состояния по шкале САН показал, что учащиеся-токари недостаточно адаптированы к факторам производственной практики. Так, к концу производственной практики выявлено снижение желания работать, ухудшилось самочувствие, снизилась сосредоточенность. В то же время ряд исследуемых показателей (КЧССМ, сила мышц кисти) статистически значимо не изменились и не отражаются на динамике параметров ВРС.

Таким образом, ВРС позволяет определить роль симпатического и парасимпатического отделов в механизмах формирования адаптивных возможностей

учащихся в зависимости от индивидуальных возможностей в различных условиях производственного обучения. Полученные нами результаты согласуются с рядом исследований, посвященных изучению ВРС в различных условиях окружающей среды и учебной нагрузки, отличающейся интенсивностью и спецификой обучения [6, 15, 16].

Проведенные нами исследования подтверждают актуальность использования ВРС при оценке влияния факторов образовательной среды в условиях производственного обучения различным рабочим профессиям с учетом адаптивных возможностей.

Таким образом, при прохождении производственной практики учащиеся по специальности станочник в металлообработке (токарь) подвергаются воздействию профессиональных производственных факторов, специфичных для данной профессии. Это воздействие вызывает состояние умеренного функционального напряжения, что подтверждается показателями вариабельности сердечного ритма. В наибольшей степени изменения, свидетельствующие о напряжении процессов регуляции, отмечены в группе менее адаптированных учащихся (понижение общей мощности спектра на 84,7 % и увеличение индекса напряжения на 90,9 % в данной группе). При оценке влияния производственных факторов на организм учащихся необходимо учитывать их адаптивные возможности.

Авторство

Киёк О. В. внесла существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; Покровский В. М. участвовал в анализе данных, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись

Киёк Ольга Васильевна – ORCID 0000-0003-0900-6313
Покровский Владимир Михайлович – ORCID 0000-0002-3971-7848

Список литературы

1. Айзенк Г. Как измерить личность. М.: Когито-центр, 2000. 283 с.
2. Ахмадеев Р. Р., Тимербулатов И. Ф., Кошелев Д. И., Евтушенко Е. М., Тимербулатова М. Ф. Критическая частота слияния мельканий и зрительные вызванные потенциалы при компьютерной нагрузке // Вестник РУДН. Серия: Медицина, 2019. Т. 23, № 2. С. 178–186. DOI: 10.22363/2313-0245-2019-23-2-178-186.
3. Домахина К. В., Черепанов К. Ю., Терешкин А. Ф. Оценка умственной работоспособности у студентов на теоретических и практических занятиях // Сборник материалов 12-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Валеологические проблемы формирования здоровья подростков, молодежи, населения», Екатеринбург, 9 декабря, 2016 г. С. 113–114.
4. Каверзина Т. Т., Скрипник И. Л., Воронин С. В. Оценка условий труда токаря по измерению уровня шума на рабочем месте // Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции «Современные технологии: актуальные вопросы. Достижения и инновации», Пенза, 25 мая, 2018. С. 174–176. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35037665> (дата обращения: 12.09.2019).
5. Кондратьев И. М., Шитов А. М., Кудрашов Р. А.,

Янтовский А. В. Методика и аппаратно-программные средства обучения операторов-станочников в области металлообработки // Современные проблемы теории машин. 2018. № 6. С. 13–17 URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35090149> (дата обращения: 12.09.2019).

6. Кононец И. Е., Калыкеева А. А. Вариабельность ритма сердца и вегетативная регуляция у учащихся колледжа различных специализаций // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 12. С. 42–46.

7. Михайлов В. М. Вариабельность сердечного ритма. Иваново: Нейрософт. 2017. 513 с.

8. Стрелю Я. Роль темперамента в психическом развитии. М.: Прогресс, 1982. 231 с.

9. Унгурану Т. Н., Грижбовский А. М. Краткие рекомендации по статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях // Экология человека. 2011. № 5. С. 55–60.

10. Brouwer J., Van Veldhuisen D. J., Man Veld A. J. et al. Prognostic value of heart rate variability during long-term follow-up in patients with mild to moderate heart failure. The Dutch Ibopamine Multicenter Trial Study Group // J. Amer. Coll. Cardiol. 1996. N 28 (5). P. 1183-1189. DOI: 10.1016/s0735-1097(96)00279-3.

11. Hammoud S., Karam R., Mourad R., Saad I., Kurdi M. Stress and Heart Rate Variability during University Final Examination among Lebanese Students // Behav. Sci. 2019. N 9. P. 3.

12. La Rowere M. T., Bigger J. T., Marus F. L. et al. Baroreflex sensitivity and heart - rate variability in prediction of total cardiac mortality after myocardial infarction. ATRAMI (Autonomic Tone and Reflexes after Myocardial Infarction) Investigators // Lancet. 1998. N 351 (9101). P. 478–484. DOI: 10.1016/s0140-6736(97) 11144-8.

13. Loerbroks A., Schilling O., Haxsen V., Jarczok M. N., Thayer J. F., Fischer J. E. The Fruits of Ones Labor: Effort Reward Imbalance but Not Job Strain Is Related to Heart Rate Variability Across the Day in 35-44-Year-Old Workers // J. Psychosom. 2010. Vol. 69, N 2. P. 151–159.

14. Mc Craty R. Heart Rate Variability. New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health Risk // Glob Adv Health Med. 2015. N 4 (1). P. 46–61. DOI: 10.7453 / gahmj. 2014.073.

15. Shearer A., Hunt M., Chowdhury M., Nicol L. Effects of a Brief Mindfulness Meditation Intervention on Student Stress and Heart Rate Variability // International Journal of Stress Management. Advance Online Publication. 2015. October 12. DOI: 10.1037/a0039814.

16. Shokr S. Effect of Exam Stress on Heart Rate Variability Parameters in Healthy Students // Egypt. Acad. J. Biol. Sci. 2015. N 7. P. 75–81.

17. Sinnreich R., Kark J., Friedlander Y., Sapoznikov D., Luria M. Five minute recordings of heart rate variability for population studies: Repeatability and age-sex characteristics // Heart. 1998. N 80. P. 156–162. DOI: 10.1136/hrt 80.2.156.

28. Stauss H. M. Heart rate variability // Am. J. Physiol.: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology. 2003. N 285 (5). P. 927–931.

19. Traina M., Gataldo A., Galullo F., Russo G. Effects of anxiety due to mental stress on heart rate variability in healthy subjects // Behav. Sci. 2019. N 9. P. 3–12.

References

1. Ajzenk G. *Kak izmerit' lichnost'* [How to measure personality]. Moscow, Kogito-centr Publ., 2000, 283 p.

2. Akhmadeev R. R., Timerbulatov I. F., Koshelev D. I., Evtushenko E. M., Timerbulatova M. F. Critical flicker fusion frequency and visual evoked potentials at computer load. *Vestnik RUDN. Seriya: Meditsina* [Newsletter of Russian Peoples' Friendship University. Series: Medicine]. 2019, 23 (2), pp. 178-186. DOI: 10.22363/2313-0245-2019-23-2-178-186. [In Russian]
3. Domakhina K. V., Cherepanov K. Yu., Tereshkin A. F. Otsenka umstvennoi rabotosposobnosti u studentov na teoreticheskikh i prakticheskikh zanyatiyakh [Assessment of mental performance in students in theoretical and practical classes]. *Sbornik materialov 12-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov «Valeologicheskie problemy formirovaniya zdorov'ya podrostkov, molodezhi, naseleniya», Ekaterinburg, 9 dekabrya, 2016* [Compendium of materials of the 12th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Valeological problems of shaping the health of adolescents, youth, population", Yekaterinburg, December 9, 2016]. Yekaterinburg, 2016, pp. 113-114.
4. Kaverzina T. T., Skripnik I. L., Voronin S. V. Otsenka usloviy truda tokarya po izmereniyu urovnya shuma na rabochem meste [Assessment of the working conditions of a turner to measure noise at the workplace]. *Sbornik statei XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii: aktual'nye voprosy. Dostizheniya i innovatsii», Penza, 25 maya, 2018* [Collection of articles of the XVII International scientific-practical conference "Modern technologies: current issues. Achievements and Innovations", Penza, May 25, 2018]. Penza, 2018, pp. 174-176. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35037665> (accessed 12.09.2019).
5. Kondrat'ev I. M., Shitov A. M., Kudrashov R. A., Yantovskii A. V. Methodology and hardware and software for training machine operators in the field of metalworking. *Sovremennye problemy teorii mashin* [Modern problems of machine theory]. 2018, 6, pp. 13-17. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35090149> (accessed 12.09.2019). [In Russian]
6. Kononets I. E., Kalykeeva A. A. Heart rate variability and autonomic regulation in college students of various specializations. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Basic Research]. 2018, 12, pp. 42-46. [In Russian]
7. Mikhailov V. M. Variabel'nost' serdechnogo ritma [Heart rate variability]. Ivanovo, Neurosoft Publ., 2017, 513 p.
8. Strelau Ya. *Rol' temperamenta v psikhicheskom razvitiy* [The role of temperament in mental development]. Moscow, Progress Publ., 1982, 231 p.
9. Unguryanu T. N., Grizhbovskii A. M. Brief recommendations on statistical analysis and data presentation in scientific publications. *Ekologiya cheloveka* [Human ecology]. 2011, 5, pp. 55-60. [In Russian]
10. Brouwer J., Van Veldhuisen D. J., Man Veld A. J. et al. Prognostic value of heart rate variability during long-term follow-up in patients with mild to moderate heart failure. The Dutch Ibopamine Multicenter Trial Study Group. *J. Amer. Coll. Cardiol.* 1996, 28 (5), pp. 1183-1189. DOI: 10.1016/s0735-1097(96)00279-3.
11. Hammoud S., Karam R., Mourad R., Saad I., Kurdi M. Stress and Heart Rate Variability during University Final Examination among Lebanese Students. *Behav. Sci.* 2019, 9, pp. 3.
12. La Rowere M. T., Bigger J. T., Marus F. L. et al. Baroreflex sensitivity and heart - rate variability in prediction of total cardiac mortality after myocardial infarction. ATRAMI (Autonomic Tone and Reflexes after Myocardial Infarction) Investigators. *Lancet.* 1998, 351 (9101), pp. 478-484. DOI: 10.1016/s0140-6736(97) 11144-8.
13. Loerbroks A., Schilling O., Haxsen V., Jarczok M. N., Thayer J. F., Fischer J. E. The Fruits of Ones Labor: Effort Reward Imbalance but Not Job Strain Is Related to Heart Rate Variability Across the Day in 35-44-Year-Old Workers. *J. Psychosom.* 2010, 69 (2). pp. 151-159.
14. Mc Craty R., Heart Rate Variability. New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health Risk. *Glob Adv Health Med.* 2015, 4 (1), pp. 46-61. DOI: 10.7453 / gahmj. 2014.073.
15. Shearer A., Hunt M., Chowdhury M., Nicol L. Effects of a Brief Mindfulness Meditation Intervention on Student Stress and Heart Rate Variability. *International Journal of Stress Management. Advance Online Publication.* 2015, October 12. DOI: 10.1037/a0039814.
16. Shokr S. Effect of Exam Stress on Heart Rate Variability Parameters in Healthy Students. *Egypt. Acad. J. Biol. Sci.* 2015, 7, pp. 75-81.
17. Sinnreich R., Kark J., Friedlander Y., Sapoznikov D., Luria M. Five minute recordings of heart rate variability for population studies: Repeatability and age- sex characteristics. *Heart.* 1998, 80, pp. 156-162. DOI: 10.1136/hrt 80.2.156.
18. Stauss H. M. Heart rate variability. *Am. J. Physiol: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology.* 2003, 285 (5), pp. 927-931.
19. Traina M., Gataldo A., Galullo F., Russo G. Effects of anxiety due to mental stress on heart rate variability in healthy subjects. *Behav. Sci.* 2019, 9, pp. 3-12.

Контактная информация:

Киёк Ольга Васильевна — доцент гигиены с экологией, зав. кафедрой профильных гигиенических дисциплин и эпидемиологии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России
 Адрес: 350063, г. Краснодар, ул. Митрофана Седина, д. 4
 E-mail: olga.kiek@mail.ru

только изменением постоянства его внутренней среды (организма), но и воздействием на последнюю внешних факторов [1, 12, 14]. Например, инволюционные изменения вилочковой железы после реализации ее жизненного цикла приводят к ее атрофии [27, 28]. Возрастные изменения, происходящие в результате старения организма, напрямую связаны с атрофией органов и тканей, а повреждения органов эффекторов приводят к частичной их утрате, нарушению функции и развитию обратимого процесса атрофии в процессе посттравматического восстановления [6]. Изменение компонентов окружающей среды также приводит к изменению структуры органов, перестройке и атрофии входящих в их состав тканей [7, 30].

Челюстно-лицевая область является мощной рефлексогенной зоной, где благодаря широкой сети кровоснабжения, поверхностного расположения афферентных нервных окончаний (замыкающихся сразу на центральную нервную систему) воздействие факторов изменяющейся внешней среды крайне выражено [5, 7, 25, 26]. Так, применение нефизиологичной нагрузки базиса съемного протеза на протезное ложе с формированием гингиво-мышечного рефлекса приводит к инволюционным изменениям костной ткани, потере ее объема и прогрессирующей атрофии [6, 19]. Использование в рационе человеком провернутой, мягкой, обработанной физическими и химическим агентами пищи приводит к эволюционному уменьшению размеров челюстей с развитием ретенции и дистопии зубов, обусловленных недостатком места последним для физиологического прорезывания [2]. Учитывая, что фиксирующий аппарат зуба является сложной анатомо-функциональной структурой, регуляция действий которой осуществляется посредством центральной нервной системы (периодонто-мышечный рефлекс), а удаление зуба приводит не только к инволюционным изменениям челюстей и атрофии

от бездействия (отсутствие физиологичной жевательной нагрузки на костную ткань челюстей и костей основания черепа), но и к атрофии от денервации вследствие утраты зуба с окружающими его тканями (пародонтом) — понимание всех механизмов восстановления костной ткани весьма сложно [9, 23, 24].

Целью исследования является разработка модели репаративного остеогенеза для наглядного представления процессов постэкстракционной атрофии челюстей.

Методы

Одним из методов изучения патологических процессов в организме человека является метод моделирования [8, 15]. Данный метод позволяет выявить и описать сущность того, что скрыто от врача при обследовании и лечении пациента: причин и механизмов возникновения, развития и завершения болезни, патологической реакции, процесса или состояния [4, 8, 15, 18, 21]. Метод моделирования позволяет воспроизводить патологический процесс на «искусственных копиях» болезней — их экспериментальных моделях, а также помогает представить суть происходящего с использованием медицинских терминов, представлений и положений, то есть моделировать интеллектуально.

Результаты

На основании использования теоретического анализа и формализованного моделирования, патофизиологического анализа и метода обобщения предложена модель, позволяющая представить принципы постэкстракционного остеогенеза челюстей. Для наглядной визуализации костный дефект представлен в виде куба, верхняя грань которого является зубом, подлежащим удалению. Прежде чем дать описание модели, отметим, что объем костной регенерации зависит от многих факторов, среди них ширина оста-

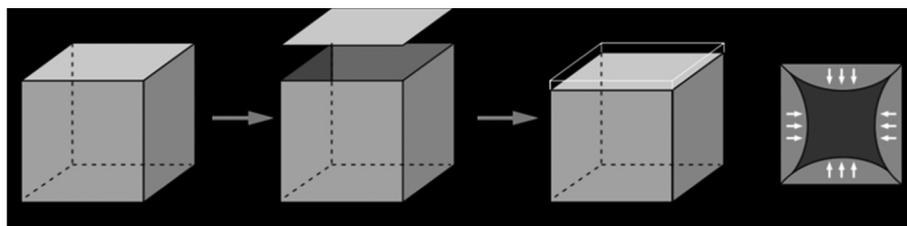


Рис. 1.1. Саногенетический механизм регенерации костной ткани после удаления зуба при сохранении целостности альвеолы (схема)

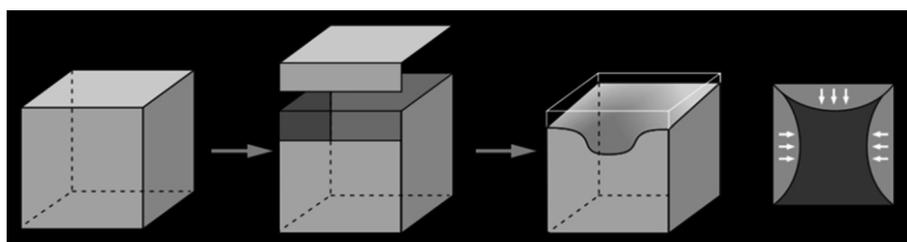


Рис. 1.2. Саногенетический механизм регенерации костной ткани челюсти при отсутствии одной стенки и частичном дефекте второй стенки альвеолы после удаления зуба (схема)

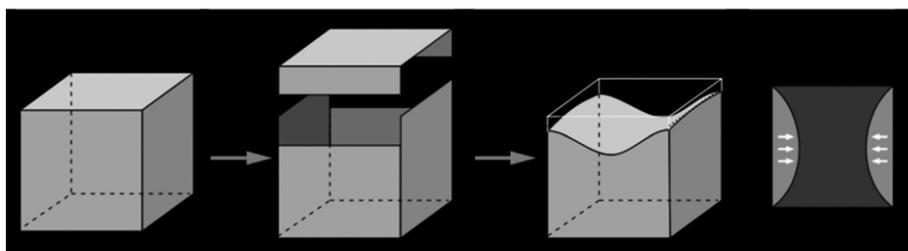


Рис. 1.3. Саногенетический механизм регенерации костной ткани челюсти при отсутствии одной стенки и частичном дефекте двух стенок альвеолы после удаления зуба (схема)

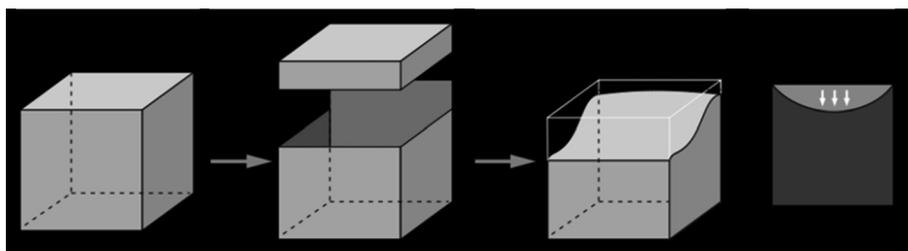


Рис. 1.4. Саногенетический механизм регенерации костной ткани челюсти при отсутствии одной стенки и частичном дефекте трех стенок альвеолы после удаления зуба (схема)

точной костной ткани, наличие инфекции, возраст пациента, сопутствующие заболевания и т. д. На рис. 1.1–1.4 показан общий принцип постэкстракционных изменений без учета индивидуальных факторов, присутствующих конкретному организму. При простом атравматичном удалении зуба все стенки альвеолы сохранены в полном объеме (см. рис. 1.1). В ходе операции получается костный дефект (лунка удаленного зуба) с отсутствием верхней стенки. Постэкстракционная атрофия костной ткани в таких клинических случаях будет минимальной и равномерной со всех сторон и составит от 1–2 до 4–5 мм [11, 17, 20, 24, 29] в зависимости от групповой принадлежности удаляемого зуба (в дальнейшем для визуализации на модели взята величина атрофии, равная 1–2 мм). Регенераторный потенциал в таких условиях максимальный, а восстановление костной ткани идет от периферии (от стенок лунки) к центру (в сторону дефекта).

Следующий пример демонстрирует результат удаления зуба с посттравматическим дефектом (отломом) одной из стенок альвеолы. На рис. 1.2 представлен вариант, когда удаляется и верхняя треть передней стенки альвеолы с формированием дефекта двух стенок. Атрофия костной ткани будет идти по тем же принципам — на 1–2 мм ниже относительно наивысшей и наименьшей высоты сохраненных стенок. Вектор посттравматической регенерации будет направлен от наивысшей точки к точке с минимальной высотой с формированием ската в передне-заднем направлении, потому что в верхней трети регенерация будет проходить от периферии (от стенок лунки) к центру (в сторону дефекта) от трех сохраненных стенок.

Рассмотрим вариант, когда во время удаления возникает дефект трех стенок (рис. 51.3), например, при удалении вместе с зубом верхней трети передней и задней стенок альвеолы. Атрофия костной ткани будет на 1–2 мм ниже уровня сохраненных стенок

альвеолы при формировании ямы (желоба) с максимальной высотой в апроксимальных направлениях, так как вектор регенерации в верхней трети альвеолы, направленный в сторону наименьшей высоты костного дефекта, будет проходить от периферии к центру только за счет боковых стенок.

Последний клинический вариант, если после удаления зуба формируется дефект альвеолы с сохраненной одной ее стенкой (рис. 1.4). По регенераторным возможностям такой дефект наименее благоприятный, так как регенерация костной ткани в верхней трети альвеолы будет осуществляться исключительно за счет одной сохраненной стенки альвеолы. При этом атрофия альвеолярного отростка (части) челюсти с формированием скатов в направлении отсутствующих стенок в максимальной по высоте точке составит 1–2 мм.

Важное значение для профилактики постэкстракционной атрофии имеет также и высота оставшихся после удаления костных пиков — точек максимальной амплитуды вектора регенерации костной ткани. Редукция гребня челюсти после удаления зуба не проводится вообще или проводится в минимальном объеме только для устранения острых и выступающих краев костной раны.

Представленный механизм регенерации позволяет с точки зрения метаболической достаточности костных стенок уже на этапе удаления зуба оценить необходимость применения одного из методов профилактики постэкстракционной атрофии (консервации лунки или восстановления альвеолы).

Обсуждение результатов

Для практикующего хирурга-стоматолога, который занимается восстановлением объемных показателей костной ткани перед дентальной имплантацией вопрос использования костных материалов при дентальной

имплантации всегда актуален. В современной отечественной и зарубежной литературе представлено большое количество примеров использования ауто-, ксено-, алло- и синтетических трансплантатов. Аутогенный костный трансплантат до настоящего времени остается единственным источником остеогенных клеток и считается «золотым стандартом» при реконструктивных операциях в полости рта [11, 20]. Таким образом, даже при восполнении небольших дефектов или при пластике одно- или двухстеночных дефектов, обладающих высоким регенераторным потенциалом, в зоне операции всегда можно получить аутокостную стружку и использовать ее в смеси с костнозамещающим материалом для активации остеобластического остеогенеза. На рис. 2 показаны варианты получения аутокости во время проведения операции костной пластики или установки дентальных имплантатов. Особенностью представленных методов является простота исполнения и отсутствие необходимости создания дополнительной операционной раны.

В повседневной практике достаточно сложно отследить представленные варианты саноогенеза, так как в большинстве случаев мы имеем дело с начальной клинической ситуацией и ее исходом: положительным

или отрицательным. Описанная модель регенерации костной ткани наиболее полно подтверждается при проведении конусно-лучевой компьютерной томографии на этапах лечения больших полостных образований челюстей методом декомпрессионного дренирования (марсупиализации) [3, 22]. На рис. 3 и 4 представлены клинические случаи лечения пациентов с обширными кистами на верхней и нижней челюсти. Метод декомпрессионного дренирования позволяет не только сохранить жизнеспособность здоровых зубов, находящихся в проекции кисты, но и осуществить профилактику травмирования сосудисто-нервных пучков зубов и челюстей при проведении радикальной хирургической операции.

Клинический пример 1. Пациентка М., 65 лет, обратилась в специализированное отделение многопрофильного стационара с жалобами на отек области верхней губы и периодическое гнойное отделяемое в полость рта из свищевого хода в проекции корней зубов верхней челюсти. Исходная клиническая ситуация представлена на рис. 3.1. В полости рта в проекции корня зуба 2.2 определяется закрывшийся свищевой ход. При рентгенологическом исследовании определяется киста верхней челюсти в проекции зубов 2.1, 2.2, 2.3. Диагноз: радикулярная киста верхней челюсти

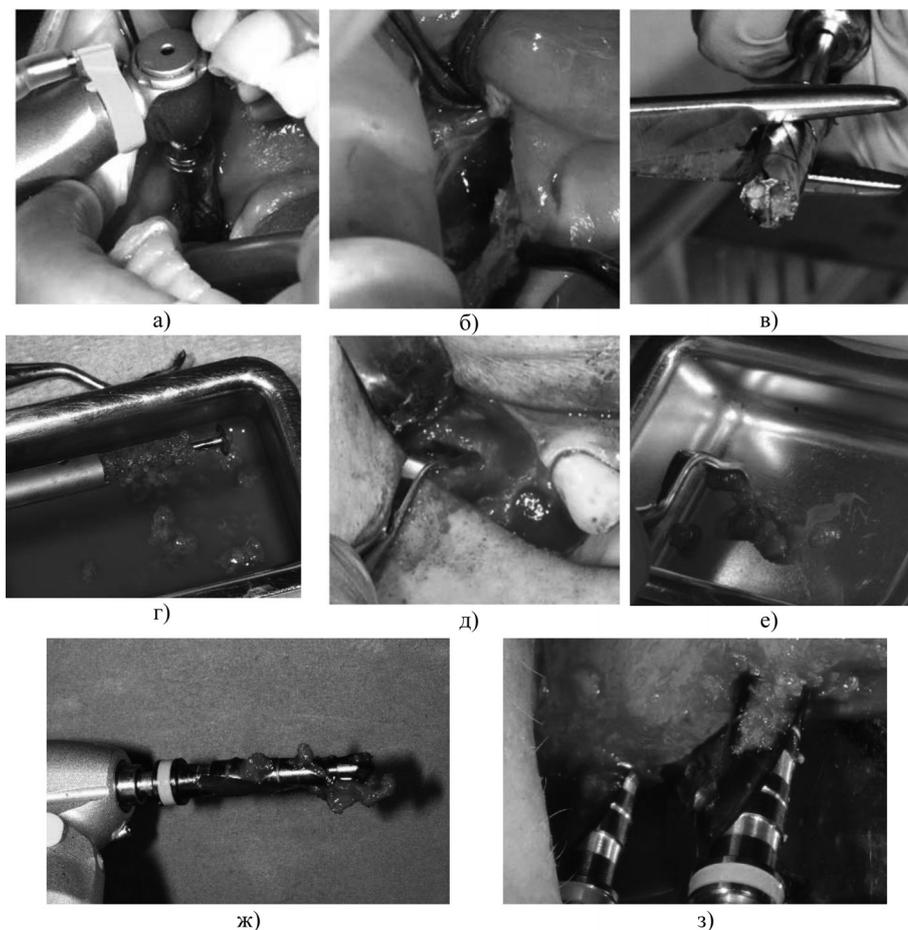


Рис. 2. Варианты получения аутокостного материала без создания дополнительных операционных ран: а, б, в — использование трепана с костной мельницей, взятие костного материала в области наружной косой линии нижней челюсти; г — использование одноразового скребка; д, е — использование многолезвчатого скребка; ж, з — получение материала во время подготовки имплантационного ложа.

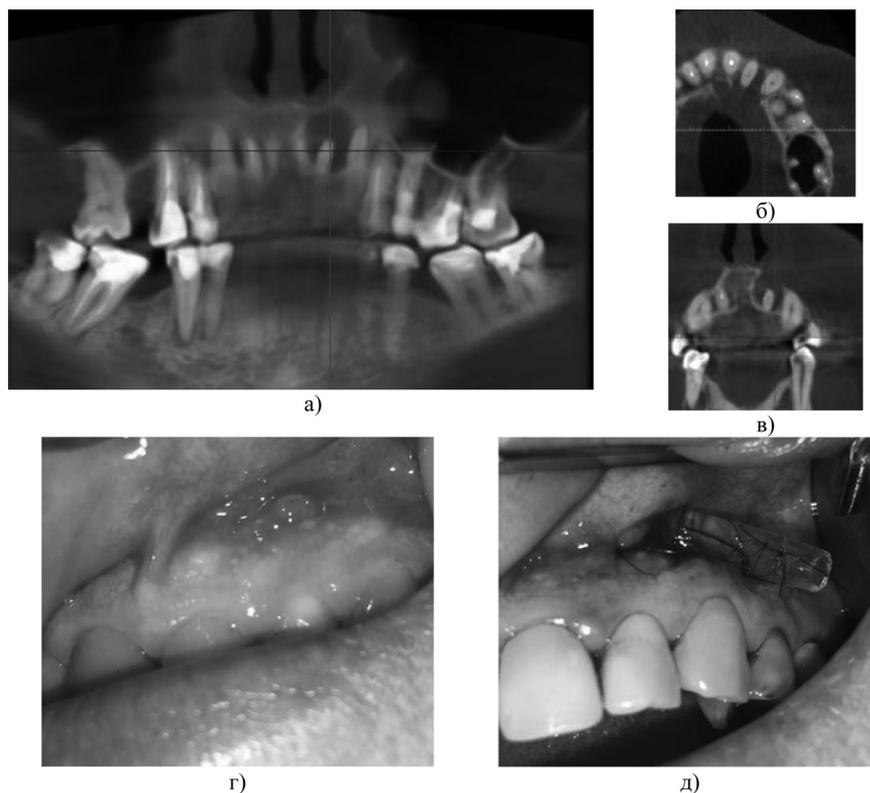


Рис 3.1. Пациентка М., 65 лет, исходная клиническая картина: а, б, в – срезы компьютерных томограмм, г – свищевой ход в области верхушки зуба 2.2; д – декомпрессионный дренаж

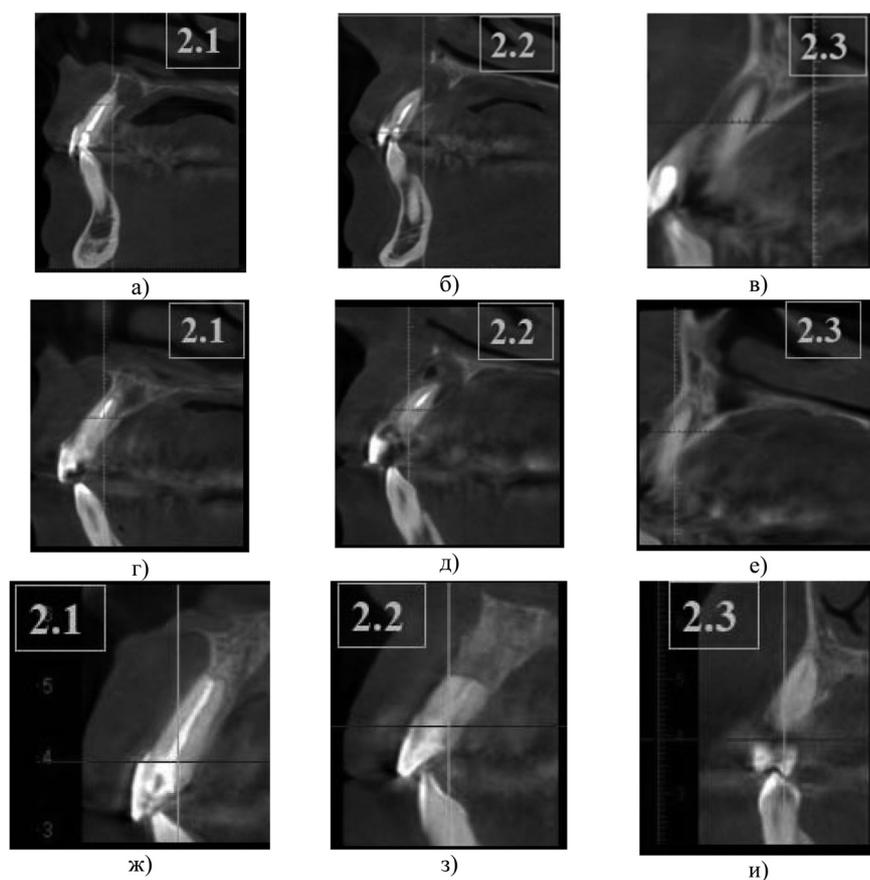


Рис. 3.2. Срезы компьютерных томограмм пациентки М., 65 лет в процессе лечения: а, б, в – исходная клиническая ситуация; г, д, е – через 4 месяца декомпрессионного дренирования перед удалением дренажа; ж, з, и – 1,5 года после операции цистэктомии с резекцией верхушки корня зуба 2.2



Рис. 3.3. Пациентка М., 65 лет, результат лечения через 1,5 года от зуба 2.2. По данным электроодонтометрии зуб 2.3 витальный, зубы 2.1 и 2.2 после эндодонтического лечения. Пациентке было выполнено декомпрессионное дренирование кисты верхней челюсти через свищевое отверстие, установлен трубчатый дренаж. В дальнейшем пациентка самостоятельно 2 раза в день промывала полость кисты антисептическими растворами. Через 4 месяца была выполнена компьютерная томограмма (рис. 3.2) и удален дренаж. В сравнении с результатом до декомпрессионного дренирования наблюдается прогрессирующий оппозиционный рост костной ткани от периферии к центру полости кисты, небная пластинка в области зуба 2.2 восстановилась, объем полости сокращен на 50 %. По истечении 2 месяцев после полного заживления мягких тканей выполнена цистэктомия с резекцией верхушки корня зуба 2.2. Полученный костный дефект заполнен костно-пластическим материалом и перекрыт барьерной

мембраной. В результате проведенного лечения зуб 2.3 сохранен витальным. Контрольная компьютерная томограмма и вид полости рта через 1,5 года после операции представлены на рис. 3.2 и 3.3.

Клиническое наблюдение 2. Пациент И. 58 лет. Обратился в специализированное отделение многопрофильного стационара с жалобами на подвижность зубов нижней челюсти слева, онемение области угла рта слева. Вид полости рта до начала лечения представлен на рис. 4.1. При проведении компьютерной томограммы обнаружена киста нижней челюсти с деструктирующим ростом в проекции зубов 3.3–3.7. Диагноз: радикулярная киста нижней челюсти от зубов 3.3, 3.4. Выполнено эндодонтическое лечение зуба 3.3, удаление зуба 3.4 (III степень подвижности), через лунку удаленного зуба выполнено дренирование трубчатым дренажем (материал взят для цитологического и гистологического исследования). Дальнейший уход был таким же, как и в предыдущем клиническом наблюдении. Раз в 3–4 месяца из гигиенических соображений производилась замена дренажной трубки. Спустя 3 месяца у пациента исчезает онемение в зоне иннервации нижнего альвеолярного нерва. На серии срезов компьютерных томограмм через 3, 6, 9 и 12 месяцев наблюдается оппозиционный рост костной ткани. К концу 12 месяца полость кисты заполняется новообразованной костной тканью на 60–70 %.

Приведенные клинические наблюдения служат примером отражения этапов репаративного остеогенеза челюсти с учетом предложенной модели постэкстракционного саногенеза и иллюстрируют влияние изменяющихся условий среды полости рта

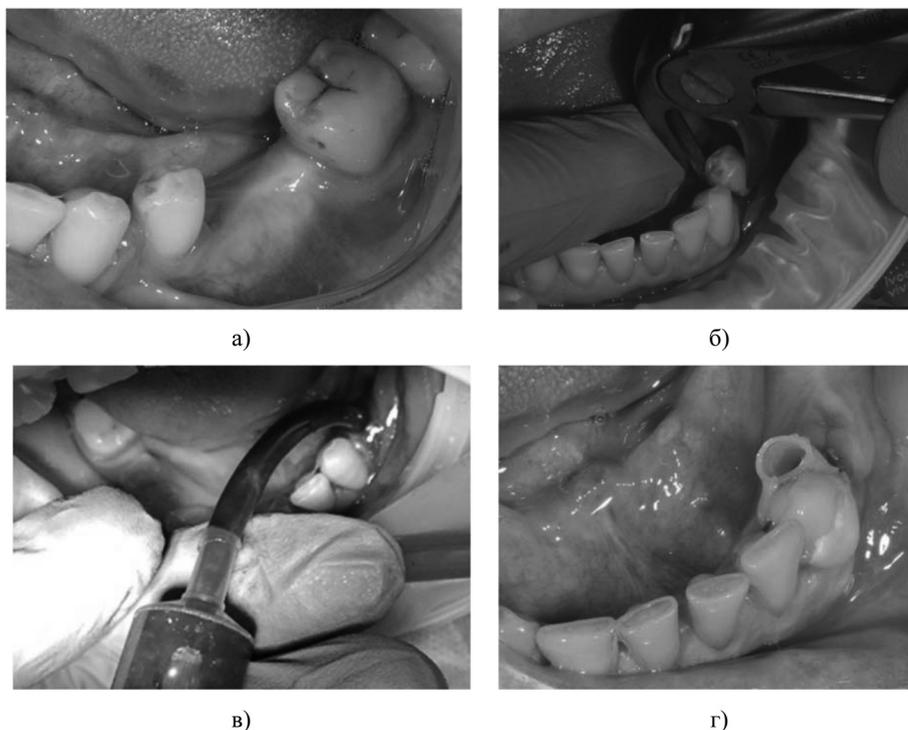


Рис. 4.1. Пациент И., 58 лет, этапы лечения: а — исходная клиническая ситуация; б — удаление зуба 3.4; в — активное аспирационное дренирование содержимого кисты; г — установлена и фиксирована силиконовая трубка для декомпрессионного дренирования

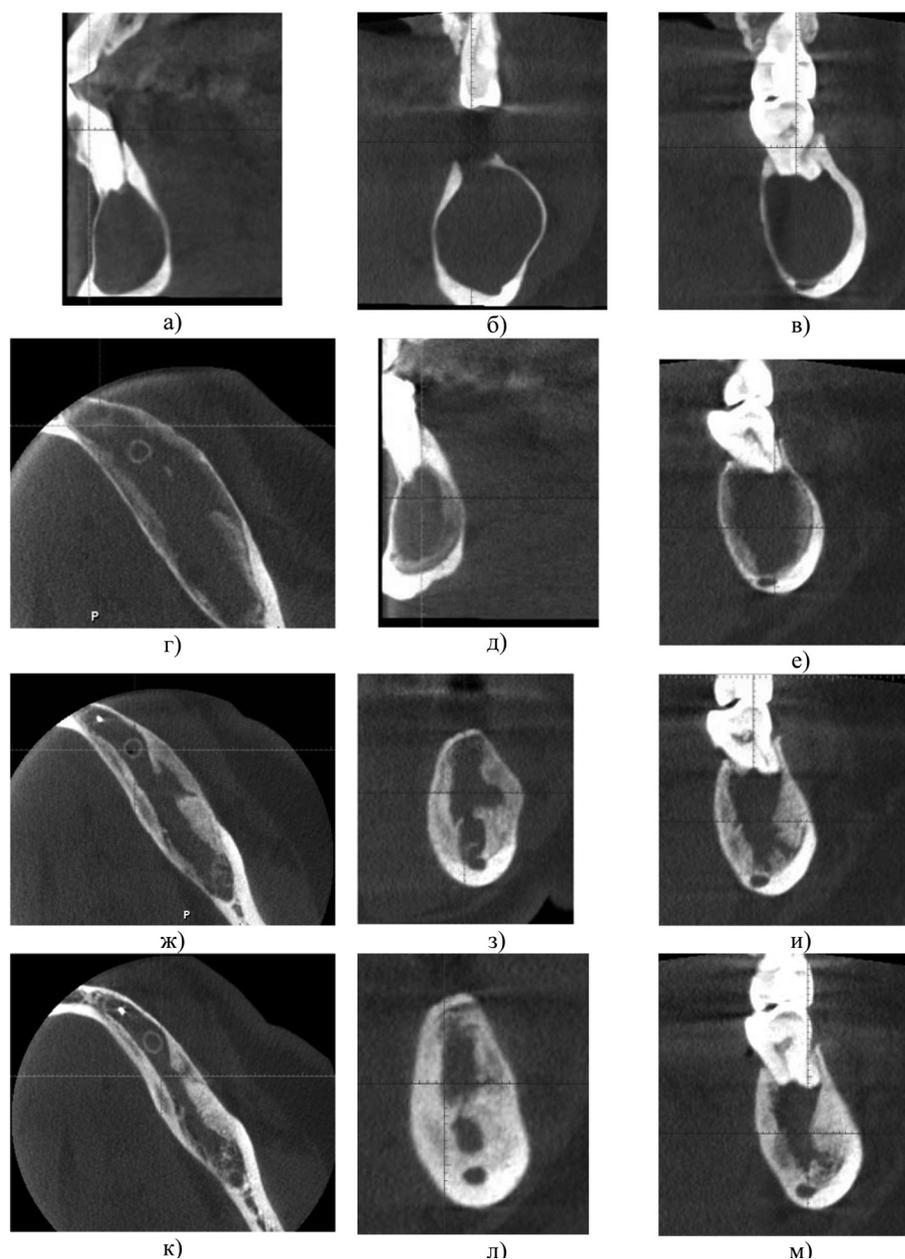


Рис. 4.2. Пациент И., 58 лет. Рост костной ткани в область дефекта на этапах декомпрессионного дренирования, срезы компьютерной томограммы: а, б, в – исходная клиническая ситуация; г, д, е – через 3 месяца; ж, з, и – через 6 месяцев; к, л, м – через 12 месяцев

на способность формирования костной ткани в объемных полостях челюстей.

Выводы

Организм человека постоянно находится под воздействием окружающей среды, что вызывает в нем обратимые и необратимые изменения. На основании представленных данных возможны не только изучение принципов посттравматического остеогенеза костной ткани после удаления зубов и развития атрофии, но и оценка регенераторных возможностей того или иного метода костной пластики, направленного на увеличение высоты, ширины или трехмерной коррекции альвеолярного отростка (части) челюсти с целью последующей (или одновременной) установки дентальных имплантатов. Понимание патофизиологи-

ческих принципов регенерации костной ткани помогает охарактеризовать метаболическую достаточность стенок дефекта и с целью увеличения вероятности прогнозируемого положительного результата принять решение о возможности применения ксено-, алло-, синтетических трансплантатов или отдать предпочтение применению аутоотрансплантата (несмотря на большую травматичность операции при необходимости получения большого объема аутокости).

Авторство

Музыкин М. И. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных, подготовил первый вариант статьи; Иорданишвили А. К. участвовал в анализе данных, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись.

Музыкин Максим Игоревич – SPIN 7169-1489; ORCID 0000-0003-1941-7909

Иорданишвили Андрей Константинович – SPIN 6752-6698 ORCID 0000-0003-0052-3277

Список литературы

1. Ахмедов А. А., Толлибоев Д. М. Современная экология: структура экологической области знаний // Школа Науки. 2019. № 7 (18). С. 39–42.

2. Васильченко Г. А. Анатомические предпосылки затруднённого прорезывания нижних третьих моляров: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2012. 34 с.

3. Годунова И. В., Щипский А. В., Серова Н. С. Роль лучевых методов исследования в оценке восстановления костной ткани после проведения цистотомии у пациентов с обширными кистами челюстей // Russian El. J. Radiology. 2016. № 6 С. 22–28.

4. Голиков В. А. Проблемы моделирования адаптационных процессов в организме человека // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2005. № 2. С. 37–41.

5. Горбатова М. А., Гржибовский А. М., Горбатова Л. Н., Зинченко Г. А., Владимиров А. С. Алиментарные факторы риска стоматологического здоровья и кариес зубов у 15-летних подростков Архангельской области // Клиническая стоматология. 2019. № 1 (89). С. 4–10.

6. Иорданишвили А. К. Возрастные физиологические и патофизиологические особенности жевательного аппарата взрослого человека // Успехи геронтологии. 2019. Т. 32, № 5. С. 824–828.

7. Қалашиников И. Н., Шербатюк Т. Г. Основы медицинской экологии и экологии человека. Нижний Новгород, 2018. С. 30–42.

8. Лепехова С. А., Судаков Н. П., Жаркая А. В. Моделирование патологических процессов в эксперименте – первый шаг в трансляционную медицину // Актуальные вопросы трансляционной медицины. Иркутск, 2017. С. 6–9.

9. Музыкин М. И., Иорданишвили А. К., Лосев Ф. Ф. Osteo-мускулярный физиологический рефлекс жевательного аппарата и его характеристика // Пародонтология. 2017. Т. 22, № 4 (85). С. 9–13.

10. Неумывакин И. П., Неумывакина А. С. Эндозоология здоровья. СПб., 2019. С. 24–27.

11. Поплавский Д. В., Музыкин М. И., Иорданишвили А. К. Методы костной пластики в амбулаторных стоматологических учреждениях // Институт стоматологии. 2015. № 4 (69). С. 32–34.

12. Рыжак Г. А., Иорданишвили А. К., Музыкин М. И., Никитенко В. В. Факторы риска в патогенезе одонтогенного периостита челюстей у взрослых людей в различных возрастных группах // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2012. Т. 13, № 3. С. 641–649. URL: <http://www.medline.ru/public/art/tom13/art53.html> (дата обращения: 12.01.2020).

13. Титов В. Н. Теории биологических функций и ее применение при выяснении патогенеза распространенных заболеваний человека // Успехи современной биологии. 2008. Т. 128, № 5. С. 435–452.

14. Устинова О. И. Составляющие экологической готовности организма человека к приспособлению (обзор литературы) // Научная дискуссия: вопросы медицины. 2016. № 11 (41). С. 79–88.

15. Цыган В. Н. Патофизиология. Клиническая патофизиология. СПб., 2018. Т. 1. С. 38–42.

16. Чащин В. П., Гудков А. Б., Попова О. Н., Одланд И. О., Ковшов А. А. Характеристика основных фак-

торов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.

17. Araújo M. G., Silva C. O., Souza A. B. Socket healing with and without immediate implantplacement // Periodontology 2000. 2019. Vol. 79. P. 168–177.

18. Bradbury P., Wu H., Choi J. U., Rowan A. E., Zhang H. Modeling the Impact of Microgravity at the Cellular Level: Implications for Human Disease // Front Cell Dev. Biol. 2020. N 21. P. 93–96

19. Casteren A., Strait D. S., Swain M. V. Hard plant tissues do not contribute meaningfully to dental microwear: evolutionary implications // Sci. Rep. 2020. N 10 P. 582–584.

20. Chappuis, V., Araújo M. G., Buser D. Clinical relevance of dimensional bone and soft tissue alterations post-extraction in esthetic sites // Periodontology 2000. 2017. Vol. 23, N 7. P. 73–83.

21. Darcy J. L., Washburne A. D., Robeson M. S. A phylogenetic model for the recruitment of species into microbial communities and application to studies of the human microbiome // ISME J. 19.02.2020 Doi: 10.1038/s41396-020-0613-7). URL: <https://www.nature.com/articles/s41396-020-0613-7>.

22. Oh S. J., You J. S., Kim S. G. Clinical and histomorphometric evaluation of decompression followed by enucleation in the treatment of odontogenic keratocyst // Journal of dental sciences. 2018. N 13. P. 329–333.

23. Marchesan J. T., Girnary M. S., Moss K. Role of inflammasomes in the pathogenesis of periodontal disease and therapeutics // Periodontol 2000. 2020. N 82 (1). P. 93–114.

24. Neumayer S. The Tissue Master Concept (TMC): innovations for alveolar ridge preservation // Int. J. Esthet. Dent. 2017. Vol. 12. P. 246–257.

25. Ohashi N., Nonami J., Kodaira M., Yoshida K., Sekijima Y. Taste disorder in facial onset sensory and motor neuropathy: a case report // BMC Neurol. 2020. N 20. P. 71–75.

26. Proctor D. M., Shelef K. M., Gonzalez A., Davis C. L. Microbial biogeography and ecology of the mouth and implications for periodontal diseases // Periodontol. 2000. N 82 (1). P. 26–41.

27. Rezzani R., Nardo L., Favero G., Peroni M., Rodella L. F. Thymus and aging: morphological, radiological, and functional overview // Age (Dordr.). 2014. N 36. P. 313–351.

28. Thapa P., Farber D. L. The Role of the Thymus in the Immune Response // Thorac. Surg. Clin. 2019. N 29 (2). P. 123–131.

29. Trombelli, L. Modeling and remodeling of human extraction sockets // Journal of Clinical Periodontology. 2008. Vol. 35, N 7. P. 630–639.

30. Wells M. L., Karlson B., Wulff A., Kudela R., Trick C. Future HAB science: Directions and challenges in a changing climate // Harmful Algae 2020. N 91. P. 1–18. Doi: 10.1016/j.hal.2019.101632.

References

1. Akhmedov A. A., Tolliboev D. M. Modern ecology: the structure of the ecological field of knowledge. *Shkola Nauki* [School of Science.] 2019, 7 (18), pp. 39-42. [In Russian]

2. Vasil'chenko G. A. *Anatomicheskie predposylki zatrudnennogo prorezyvaniya nizhnikh tret'ikh molyarov (avtoref. cand. diss.)* [Anatomical prerequisites for difficult eruption of the lower third molars. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Saint Petersburg, 2012, p. 34.

3. Godunova I. V., Shchipskii A. V., Serova N. S. The role of radiation research methods in assessing bone recovery after cystotomy in patients with extensive jaw cysts. *Russian El. J. Radiology*. 2016, 6, p. 22-28.
4. Golikov V. A. Problems of modeling adaptive processes in the human body. *Aktual'nye problemy transportnoi meditsiny* [Current problems of transport medicine]. 2005, 2, pp. 37-41. [In Russian]
5. Gorbatova M. A., Grzhibovskii A. M., Gorbatova L. N., Zinchenko G. A., Vladimirova A. S. Alimentary risk factors for dental health and dental caries in 15-year-olds in the Arkhangelsk region. *Klinicheskaya stomatologiya* [Clinical dentistry]. 2019, 1 (89), pp. 4-10. [In Russian]
6. Iordanishvili A. K. Age-related physiological and pathophysiological features of the adult chewing apparatus. *Uspekhi gerontologii* [Advances in gerontology]. 2019, 32 (5), pp. 824-828. [In Russian]
7. Kalashnikov I. N., Shcherbatyuk T. G. *Osnovy meditsinskoi ekologii i ekologii cheloveka* [Fundamentals of medical ecology and human ecology]. Nizhnii Novgorod, 2018, p. 30-42.
8. Lepekhova S. A., Sudakov N. P., Zharkaya A. V. Modeling pathological processes in an experiment is the first step in translational medicine. *Aktual'nye voprosy translyatsionnoi meditsiny* [Current issues of translational medicine]. Irkutsk, 2017, pp. 6-9.
9. Muzykin M. I., Iordanishvili A. K., Losev F. F. Osteo-muscular physiological reflex of the chewing apparatus and their characteristics. *Parodontologiya* [Parodontology]. 2017, 22 (4, 85), pp. 9-13. [In Russian]
10. Neumyvakin I. P., Neumyvakin A. S. *Endoekologiya zdorov'ya* [Health endoecology]. Saint-Petersburg, 2019, pp. 24-27.
11. Poplavskii D. V., Muzykin M. I., Iordanishvili A. K. Methods of bone augmentation in outpatient dental institutions. *Institut stomatologii* [Institute of dentistry]. 2015, 4 (69), pp. 32-34. [In Russian]
12. Ryzhak G. A., Iordanishvili A. K., Muzykin M. I., Nikitenko V. V. Risk factors in the pathogenesis of odontogenic jaw periostitis in adults in different age groups. *Medline.ru. Rossiiskii biomeditsinskii zhurnal* [Russian biomedical journal]. 2012, 13 (3), pp. 641-649. [In Russian] Available at: <http://www.medline.ru/public/art/tom13/art53.html> (accessed: 12.01.2020). [In Russian]
13. Titov V. N. Theory of biological functions and its application in determining the pathogenesis of common human diseases. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Advances in modern biology]. 2008, 128 (5), pp. 435-452. [In Russian]
14. Ustinova O. I. Components of the ecological readiness of the human body to accommodate (literature review). *Nauchnaya diskussiya: voprosy meditsiny* [Scientific discussion: questions of medicine]. 2016, 11 (41), pp. 79-88. [In Russian]
15. Tsygan V. N. *Patofiziologiya. Klinicheskaya patofiziologiya* [Pathophysiology. Clinical pathophysiology]. Saint Petersburg, 2018, vol. 1, pp. 38-42.
16. Chashchin V. P., Gudkov A. B., Popova O. N., Odland I. O., Kovshov A.A. Characteristics of the main risk factors for health disorders of the population living in the territories of active nature use in the Arctic]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 1, pp. 3-12. [In Russian]
17. Araújo M. G., Silva C. O., Souza A. B. Socket healing with and without immediate implantplacement. *Periodontology* 2000. 2019, 79, pp. 168-177.
18. Bradbury P., Wu H., Choi J. U., Rowan A. E., Zhang H. Modeling the Impact of Microgravity at the Cellular Level: Implications for Human Disease. *Front Cell Dev. Biol.* 2020. № 21. P. 93-96
19. Casteren A., Strait D. S., Swain M. V. Hard plant tissues do not contribute meaningfully to dental microwear: evolutionary implications. *Sci. Rep.* 2020, 10, pp. 582-584.
20. Chappuis, V., Araújo M. G., Buser D. Clinical relevance of dimensional bone and soft tissue alterations post-extraction in esthetic sites. *Periodontology* 2000. 2017, 23 (7), pp. 73-83.
21. Darcy J. L., Washburne A. D., Robeson M. S. A phylogenetic model for the recruitment of species into microbial communities and application to studies of the human microbiome. *ISME J.* 19.02.2020. Doi: 10.1038/s41396-020-0613-7).
22. Oh S. J., You J. S., Kim S. G. Clinical and histomorphometric evaluation of decompression followed by enucleation in the treatment of odontogenic keratocyst. *Journal of dental sciences.* 2018, 13, pp. 329-333.
23. Marchesan J. T., Girnary M. S., Moss K. Role of inflammasomes in the pathogenesis of periodontal disease and therapeutics. *Periodontology* 2000. 2020, 82 (1), pp. 93-114.
24. Neumayer S. The Tissue Master Concept (TMC): innovations for alveolar ridge preservation. *Int. J. Esthet. Dent.* 2017, 12, pp. 246-257.
25. Ohashi N., Nonami J., Kodaira M., Yoshida K., Sekijima Y. Taste disorder in facial onset sensory and motor neuronopathy: a case report. *BMC Neurol.* 2020, 20, pp. 71-75.
26. Proctor D. M., Shelef K. M., Gonzalez A., Davis C. L. Microbial biogeography and ecology of the mouth and implications for periodontal diseases. *Periodontol.* 2000, 82 (1), pp. 26-41.
27. Rezzani R., Nardo L., Favero G., Peroni M., Rodella L. F. Thymus and aging: morphological, radiological, and functional overview. *Age (Dordr.)*. 2014, 36, pp. 313-351.
28. Thapa P., Farber D. L. The Role of the Thymus in the Immune Response. *Thorac. Surg. Clin.* 2019, 29 (2), pp. 123-131.
29. Trombelli L. Modeling and remodeling of human extraction sockets. *Journal of Clinical Periodontology.* 2008, 35 (7), pp. 630-639.
30. Wells M. L., Karlson B., Wulff A., Kudela R., Trick C. Future HAB science: Directions and challenges in a changing climate. *Harmful Algae.* 2020, 91, pp. 1-18. Doi: 10.1016/j.hal.2019.101632.

Контактная информация:

Музыкин Максим Игоревич — кандидат медицинских наук, докторант кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова»

Адрес: 194044, г. Санкт Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6

E-mail: Muzikinm@gmail.com

СИСТЕМА РАННЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПОМОЩИ ДЕТЯМ ГРУППЫ РИСКА НАРУШЕНИЯ ПСИХИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В РОССИИ

© 2020 г. О. С. Белова, А. Г. Соловьев, *А. Леппиман

ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Архангельск, Россия; *Университет Лапландии, Рованиеми, Финляндия

Увеличение количества детей с ментальными отклонениями в последние годы обуславливает необходимость поиска новых возможностей для повышения эффективности оказания помощи, начиная с раннего возраста (РВ). *Цель* работы – методологическое обоснование и систематизация современных направлений оказания ранней помощи (РП) детям, относящимся к группе риска (ГР) по возникновению ментальных нарушений. *Методы*. Методической базой работы явился комплексный анализ Приказов Минздрава Российской Федерации последних лет по организации психоневрологической помощи детям, современных медико-социальных подходов и рекомендаций по психолого-педагогическому обеспечению при работе с семьями, воспитывающими детей РВ с ментальными нарушениями, и специалистами детских дошкольных учреждений. *Результаты*. Представлены основные подходы к созданию единой системы РП в России. Проанализированы наиболее востребованные направления повышения эффективности комплексной РП детям ГР по психическим расстройствам в рамках междисциплинарных подходов ментальной экологии: подготовка рекомендаций по оптимизации и повышению эффективности оказания медико-психолого-педагогической помощи детям РВ из ГР; систематизация основных симптомов и синдромов, характерных для детей РВ и особенно значимых для врачей-педиатров и детских неврологов; поиск дифференциально-диагностических критериев; разработка и оценка эффективности доступных скринирующих и инструментальных методик для диагностики отклонений у детей РВ; внедрение методических подходов к диагностике и РП детям ГР расстройств аутистического спектра; оценка эффективности системы РП на основе определения качества жизни семьи; подготовка специалистов по оказанию РП детям ГР ментальных отклонений с обоснованием основных ее направлений при активном межведомственном взаимодействии. *Выводы*. В настоящее время не существует единых подходов, норм и стандартов организации РП семьям и координации деятельности организаций в различных регионах. Обоснована необходимость создания системы оказания РП детям с ограниченными возможностями здоровья, в том числе детям РВ из ГР по ментальным нарушениям. Предложен поиск способов диагностики нарушений в развитии и оказания РП с учетом оценки факторов и ресурсов психического здоровья детей в рамках междисциплинарных подходов ментальной экологии.

Ключевые слова: дети раннего возраста, ментальная экология, группа риска психических расстройств, ранняя помощь

SYSTEM OF EARLY COMPREHENSIVE ASSISTANCE TO CHILDREN FROM RISK GROUPS FOR MENTAL DISORDERS IN RUSSIA

O. S. Belova, A. G. Soloviev, *A. Leppiman

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia; *University of Lapland, Rovaniemi, Finland

The increase in the number of children with mental disabilities in recent years warrants search for new opportunities to improve the effectiveness of care, starting from an early age (EA). *Aim*. The purpose of this paper was to provide methodological justification and systematization of modern directions of early care (EC) for children belonging to the risk group (RG) for the development of mental disorders. *Methods*. The methodological basis of the work was a comprehensive analysis of the Orders of the Ministry of health of the Russian Federation in recent years on the organization of psycho-neurological care for children, modern medical and social approaches and recommendations for psychological and pedagogical support when working with families raising children with mental disabilities and specialists of preschool institutions. *Results*. The main approaches to creating a unified EC system in Russia are presented. The most popular destinations of the effectiveness of integrated EC to children with mental disorders are analyzed with interdisciplinary approaches of mental ecology: preparation of recommendations on optimization and improving the efficiency of the medico-psychological-pedagogical aid to EA children; systematization of the main symptoms and syndromes characteristic for EA children and particularly important for pediatricians and pediatric neurologists; search for differential diagnostic criteria; development and evaluation of the effectiveness of available screening and instrumental methods for diagnosing abnormalities in EA children; introduction of methodological approaches to the diagnosis and treatment of children with autism spectrum disorders; evaluation of the effectiveness of the EC system based on determining the quality of life of the family; training of specialists in providing EC to children with mental disabilities with justification of the main its directions with active interdepartmental interaction. *Conclusions*. At present, there are no unified approaches, norms and standards for organizing EC and coordinating the activities of organizations in different regions. The necessity of creating a system of EC providing to children with disabilities, including EA children from RG for mental disorders is justified. A search for ways to diagnose developmental disorders and provide EC is proposed, taking into account the assessment of factors and resources of children's mental health within the framework of interdisciplinary approaches to mental ecology.

Key words: young children, mental ecology, risk group for mental disorders, early care

Библиографическая ссылка:

Белова О. С., Соловьев А. Г., Леппиман А. Система ранней комплексной помощи детям группы риска нарушения психического развития в России // Экология человека. 2020. № 8. С. 49–54.

For citing:

Belova O. S., Soloviev A. G., Leppiman A. System of Early Comprehensive Assistance to Children from Risk Groups for Mental Disorders in Russia. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 8, pp. 49-54.

Активное обсуждение и обмен опытом реализации программ ранней помощи (РП) детям все чаще включают поиск направлений для создания единой системы по ее оказанию: формирование медицинских, социальных и правовых основ ее организации, ранней диагностики отклонений в развитии у детей раннего возраста (РВ), а также оценку качества предоставления услуг РП [20].

Вместе с тем учреждения здравоохранения, образования и социальной защиты понимают РП по-разному, часто подменяя ее своей повседневной деятельностью с детьми РВ. С учетом же основных положений принятой «Концепции развития ранней помощи в Российской Федерации (РФ) на период до 2020 г.» [17] речь идет об интеграции набора услуг семье, нацеленных на формирование умений и навыков, требующихся ребенку ежедневно. С медицинской точки зрения РП состоит из ранней диагностики нарушений, начиная с пренатального периода; повышения эффективности медицинской реабилитации детей-инвалидов; региональной составляющей, заключающейся в мониторинге результатов пренатальной диагностики, неонатального и аудиологического скрининга и другого, в том числе детей с ментальными нарушениями в рамках широкого подхода ментальной экологии. Последнее тем более актуально, что в РФ отмечается рост детей-инвалидов по психическим заболеваниям: показатель общей инвалидности по ним вырос с 453,0 в 2016 г. до 524,4 на 100 тыс. нас. в 2018 г. [13]; наблюдается постоянный рост числа детей с ментальными отклонениями и детей из социально неблагополучных семей. Официальные статистические подходы по выявлению ментальных нарушений в РВ не являются совершенными.

Целью работы явилось методологическое обоснование и систематизация современных направлений оказания РП детям, относящимся к группе риска (ГР) по возникновению ментальных нарушений.

Методы

Методической базой работы явился комплексный анализ Приказов Минздрава РФ последних лет по организации психоневрологической помощи детям, современных медико-социальных подходов и рекомендаций по психолого-педагогическому обеспечению при работе с семьями, воспитывающими детей РВ с ментальными нарушениями, и специалистами детских дошкольных учреждений.

Результаты и их обсуждение

Категория детей с ментальными изменениями неоднородна; к отклонениям в РВ относят: резидуально-органические нарушения, депривационные синдромы, тревожно-фобические расстройства, депрессии, специфические нарушения сна и приема пищи, расстройства аутистического спектра, задержку психического развития и пр. Помимо этого у некоторых детей в анамнезе отмечается комплекс медико-психологических проблем, недостаточно вы-

раженный для постановки диагноза, но вызывающий беспокойство родителей и ухудшающий качество жизни семей. Поэтому РП и раннюю комплексную коррекцию в РВ необходимо начинать до установления диагноза, что возможно только путем определения группы детей с повышенным риском формирования ментальных нарушений [14].

В рамках медицинского подхода к РП детям из ГР по психическим расстройствам одним из основных направлений является изучение медико-биологических факторов риска и предикторов отклонений в ментальном развитии [1]. Сохраняет актуальность патогенное влияние внутриутробной и интранатальной гипоксии, обуславливающее возникновение психических расстройств в форме невропатического симптомокомплекса у детей РВ [21]. В то же время медико-биологические факторы риска не являются специфичными для прогнозирования отклонений в развитии, поэтому актуальным является поиск эффективных способов диагностики нарушений и оказания РП с учетом оценки факторов и ресурсов психического здоровья для определения духовной связи человека с окружающими людьми и миром на основе концепции экологии разума Г. Бейтсона [4].

Наиболее востребованными направлениями повышения эффективности оказания комплексной помощи РП детям ГР в рамках межведомственных подходов ментальной экологии являются следующие.

1. Оптимизация и повышение эффективности оказания РП детям РВ в условиях первичного звена здравоохранения [12, 18]. В 2012 г. вступил в действие Приказ Минздрава РФ от 21.12.2012 № 1346н «О Порядке прохождения несовершеннолетними медицинских осмотров, в том числе при поступлении в образовательные учреждения и в период обучения в них» с перечнем необходимых профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних и возрастных периодов. Для ранней диагностики и своевременного оказания психиатрической помощи врач-психиатр должен был проводить профилактические осмотры в декретированные периоды, начиная с 12 месяцев и до 10 лет, с последующим продолжением профилактических осмотров подростковым психиатром. При этом дефицит детских психиатров был компенсирован взрослыми психиатрами, которые часто не имели достаточно знаний и навыков в области детской психиатрии. Врачи-педиатры, неврологи обычно не принимали участия в ранней диагностике психических заболеваний.

Приказом Минздрава РФ от 10.08.2017 № 514н «О порядке проведения профилактических осмотров несовершеннолетних» были сокращены возрастные категории детей, подлежащие осмотру врачом-психиатром. В дальнейшем на основании Приказа Минздрава РФ от 13.06.2019 № 396н «О внесении изменений в Порядок проведения профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних, утвержденный Приказом Минздрава РФ от 10.08.2017 № 514н» были

продолжены изменения порядка проведения профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних: скрининг на выявление ГР возникновения или наличия нарушений психического развития у детей РВ теперь проводится посредством анкетирования родителей, а врач-психиатр детский осматривает только детей из ГР психических нарушений и только при соответствии результатов скрининга критериям ГР. Ранее с учетом порядка профилактических осмотров к психиатру направляли всех детей двухлетнего возраста, но родители неохотно обращались к психиатру из опасений стигматизации ребенка. В новых условиях, когда скрининг будет применяться на уровне участковой педиатрической службы, ребенок сможет получить помощь значительно раньше.

2. Систематизация основных симптомов и синдромов, характерных для детей РВ, которые особенно значимы для врачей-педиатров, неврологов при первичном обращении, и внедрение дифференциально-диагностических критериев [2]. В оценке нервно-психического развития детей РВ педиатры отдают предпочтение показателям моторной и сенсорной сфер, часто игнорируя оценку когнитивной сферы и особенно поведения и эмоций, являющихся наиболее уязвимыми у детей РВ [10].

Выявление ведущих психиатрических жалоб в РВ показало, что они мало специфичны, к ним чаще всего относятся задержка развития речи, двигательная расторможенность и неконтактность [10]. При анализе проблем диагностики нервно-психического развития ребенка РВ отмечается отсутствие общей методологии диагностики, несвоевременность и непоследовательность оценки, а также незнание педиатрами возрастных норм развития двигательных и психических функций [11] и недостаточное выявление детей с отклонениями в развитии педиатрами первичного звена.

3. Активное внедрение межведомственного взаимодействия в рамках ментальной экологии с привлечением к динамической оценке психического здоровья специалистов немедицинского профиля и родителей, причем традиционные профессиональные роли здесь значительно расширяются с формированием нового типа мировоззрения в русле эгоцентризма [3] и развитием параклинического мышления. Так, для оценки поведения детей РВ все чаще используются доступные интервью с родителями или заменяющими их взрослыми и воспитателями, которые порой являются единственным источником информации об имеющихся проблемах и их влиянии на повседневную жизнь. В практической деятельности участкового педиатра, психолога, специалиста по социальной работе для быстрой оценки нервно-психического развития наиболее оптимальным является использование скрининг-методик, преимущество которых заключается в возможности обследования сразу большого количества детей для первичного определения степени соответствия норме состояния

здоровья и выявления проблем ментального здоровья: врожденных, перинатальных и других патологий. Результаты такого обследования являются основанием для последующей диагностики, направления в службы для ранней психолого-педагогической коррекции [8].

Имеется большое количество шкал, с помощью которых проводится оценка развития ребенка; в основе их лежит обязательное выделение различных линий развития, что позволяет своевременно определять причину отставания и направлять усилия именно на коррекцию выявленного неблагополучия [11]. Изучаются возможности применения нейросонографии для скрининга отклонений и прогнозирования задержки нервно-психического развития детей с перинатальным поражением головного мозга. Предложен алгоритм скрининга отклонений нервно-психического развития у детей РВ на основе нейросонографии, позволяющий выявлять детей с высоким риском нарушений для своевременного начала реабилитационных мероприятий [5].

4. Учитывая рост распространенности патологии, ее специфичности и необходимости активного ее распознавания в РВ, особое внимание уделяется методическим подходам к диагностике и оказанию РП детям из ГР расстройств аутистического спектра [15]. Российским обществом психиатров рекомендована анкета для родителей по выявлению риска их возникновения у детей РВ [8]. Анкетирование проводится клиническими психологами, врачами-педиатрами, неврологами, средним медицинским персоналом при опросе родителей детей 18 и 24 мес. Анкета рекомендована для скрининга наличия нарушений психического развития в рамках профилактического медицинского осмотра детей, достигших возраста двух лет.

5. Оценка эффективности системы РП на основе оценки качества жизни (КЖ) семьи. Определение уровня КЖ является дополнительным методом для отслеживания эффективности диагностики и последующей реабилитации детей с отклонениями в развитии. Используемые практические методики позволяют не только оценить КЖ детей и их семей, но и проследить его динамику для разработки психолого-педагогических и социальных реабилитационных мероприятий для детей с проблемами в развитии.

При оценке эффективности оказания РП часто ориентируются на КЖ семей, воспитывающих детей ГР и детей с выявленными ментальными нарушениями. Подобные реакции могут являться производными от характерологических особенностей личности родителей и взаимоотношений между супругами [19]. Психологически значимые различия в личностных особенностях родителей, воспитывающих детей со сложными нарушениями ментального развития, проявляются в эмоциональной сфере и отражают тенденцию к заострению тревожно-сенситивных черт личности, астено-депрессивных реакций у матерей детей со сложными вариантами развития, а также

дисфорических реакций у отцов этих детей [7, 9, 16]. Существует прямая взаимосвязь между тяжестью эмоционально-личностных нарушений у родителей и структурой нарушения развития у ребенка, степенью искажения его эмоциональной сферы.

6. Актуальной проблемой становится систематизация направлений методической деятельности по подготовке специалистов для оказания РП детям ГР [6]. Междисциплинарная подготовка специалистов включает повышение квалификации лиц, участвующих в программах укрепления здоровья, профилактики, лечения, реабилитации и восстановления здоровья детей и состоит из нескольких важнейших элементов: раннего выявления ГР и внедрения инновационных диагностических методов; повышения эффективности медицинского и психолого-педагогического сопровождения детей РВ на основе принципов коррекционной работы с ребенком наряду с социальной поддержкой и ростом мотивации семей по активному включению в совместную работу со специалистами, что в последние годы активно внедряется в практическую деятельность и показало свою эффективность в Скандинавских странах и Финляндии.

Выводы

Система оказания РП детям ГР психических нарушений находится в стадии становления и в настоящее время окончательно не сложилась. Несмотря на то, что уже накоплен значительный практический опыт, не существует единых подходов, норм и стандартов организации РП семьям и координации деятельности организаций, относящихся к различным ведомствам, что затрудняет создание единой системы оказания РП семьям с детьми в различных регионах. Активно обсуждается необходимость создания единой системы оказания РП детям с ограниченными возможностями здоровья, в том числе детям РВ из ГР по ментальным нарушениям. Отмечается отсутствие общей методологии диагностики нервно-психического развития ребенка РВ, ограниченность поиска предикторов психических отклонений только на основании выделения медико-биологических факторов риска. Альтернативным подходом является поиск способов диагностики нарушений в развитии и оказания РП с учетом оценки факторов и ресурсов психического здоровья детей в рамках междисциплинарных подходов ментальной экологии с изучением взаимоотношений в системе «окружающая среда — общество — семья — ребенок» и межведомственном единстве с социологией, психологией и медициной.

Авторство

Белова О. С. внесла существенный вклад в подготовку первого варианта рукописи и интерпретацию результатов; Соловьев А. Г. участвовал в разработке концепции и дизайна исследования, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Леппиман А. участвовала в анализе и интерпретации результатов исследования, подготовке окончательного варианта статьи

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Белова Ольга Сергеевна — SPIN 7562-4592; ORCID 0000-0001-9493-6456

Соловьев Андрей Горгоньевич — SPIN 2952-0619; ORCID 0000-0002-0350-1359

Леппиман Ану — ORCID 000-0002-3589-4759

Список литературы

1. Альбицкая Ж. В. Медико-биологические предикторы формирования инвалидирующих психических расстройств в детском возрасте // Медицинский альманах. 2018. № 5 (56). С. 164–168.
2. Альбицкая Ж. В. Возрастные особенности нарушений эмоциональной сферы у детей с различными психическими расстройствами // Медицинский альманах. 2017. № 5 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voznrastnye-osobennosti-narusheniy-emotsionalnoy-sfery-u-detey-s-razlichnymi-psihicheskimi-rasstroystvami> (дата обращения: 01.12.2019)
3. Барковская А. Ю., Янин К. Д. Ментальная экология в системе социально-экологического знания // Астраханский вестник экологического образования. 2012. № 3 (21). С. 85–87
4. Бейтсон Г. Экология разума. Избранные статьи по антропологии, психиатрии и эпистемологии. М.: Смысл, 2000. 476 с.
5. Белова О. С., Бочарова Е. А., Соловьев А. Г., Артемова Н. А., Парамонова М. В. Скрининг отклонений нервно-психического развития у детей раннего возраста на основе данных нейросонографии // Неврологический вестник. 2018. Т. 3. С. 29–33.
6. Белова О. С., Соловьев А. Г. Направления подготовки специалистов для оказания ранней помощи детям группы риска по отклонению в психическом развитии // Вопросы психического здоровья детей и подростков. 2019. № 4 (19). С. 11–16.
7. Высотина Т. Н. Личностные особенности родителей, воспитывающих детей со сложными нарушениями психического развития // Вестник СПбГУ. 2011. Сер. 12, вып. 2. С. 122–127.
8. Иванов М. В., Симашкова Н. В., Козловская Г. В. Диагностика нарушений психического развития в раннем детском возрасте (скрининговая методика) // Методологические и прикладные проблемы медицинской (клинической) психологии. Научное издание / колл. монография под ред. Н. В. Зверевой, И. Ф. Рошиной. М., 2018. С. 212–221.
9. Керре Н. О. О специфике семей, имеющих детей с аутизмом // Аутизм и нарушения развития. 2011. № 2 (33). С. 18–21.
10. Кукушкин Д. В., Кузнецова Т. А., Нечаева Т. М. Факторы риска и структура задержек нервно-психического развития детей раннего возраста: возможности и перспектива диагностики на педиатрическом участке // Педиатрическая фармакология. 2008. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/factory-riska-i-struktura-zaderzhkek-nervno-psihicheskogo-razvitiya-detey-rannego-vozrasta-vozmozhnosti-i-perspektiva-diagnostiki-na> (дата обращения: 02.10.2019).
11. Кустова Т. В., Таранушенко Т. Е., Демьянова И. М. Оценка психомоторного развития ребенка раннего возраста: что должен знать врач-педиатр // Медицинский совет. 2018. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-psihomotornogo-razvitiya-rebenka-rannego-vozrasta-cto-dolzhen-znat-vrach-pediatr> (дата обращения: 08.12.2019)
12. Лазуренко С. Б., Намазова-Баранова Л. С., Конова С. Р., Ильин А. Г. Медико-психолого-педагогич-

ческая помощь детям с ограниченными возможностями здоровья: пути совершенствования // Российский педиатрический журнал. 2013. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mediko-psihologo-pedagogicheskaya-pomosch-detyam-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami-zdorovya-puti-sovershenstvovaniya> (дата обращения: 08.12.2019).

13. Макаров И. В., Пашковский В. Э., Фесенко Ю. А., Семёнова Н. В. Состояние заболеваемости психическими расстройствами детей и подростков в Северо-Западном федеральном округе // Российский педиатрический журнал. 2019. № 6. С. 16–24.

14. Морозов С. А., Морозова С. С., Морозова Т. И. Некоторые особенности ранней помощи детям с расстройствами аутистического спектра // Аутизм и нарушения развития. 2017. Т. 15, № 2. С. 19–31.

15. Морозов С. А., Назаркина С. И. Опыт оказания ранней помощи детям с РАС, детям группы риска с признаками РАС в условиях Центра лечебной педагогики Псковской области // Аутизм и нарушения развития. 2017. Т. 15, № 2. С. 55–64.

16. Подоплелова О. Н. Психологическая помощь родителям детей с тяжелыми психическими или органическими расстройствами // Аутизм и нарушения развития. 2018. № 4. С. 60–63.

17. Распоряжение Правительства РФ от 31.08.2016 № 1839-р «Концепция развития ранней помощи в Российской Федерации на период до 2020 г.» URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 29.05.2020)

18. Смирнова В. И. Абилитация детей раннего возраста в условиях детской поликлиники (опыт Санкт-Петербурга) // Российский педиатрический журнал. 2012. № 1. С. 48–50.

19. Сорокин В. М. Содержание и динамика реакций родителей на факт рождения ребенка с отклонениями в развитии // Вестник ОГУ. 2011. № 5 (124). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-i-dinamika-reaktsiy-roditeley-na-fakt-rozhdeniya-rebenka-s-otkloneniymi-v-razvitiy> (дата обращения: 08.12.2019)

20. Старобина Е. М., Лорер В. В. О развитии ранней помощи в Российской Федерации // Педагогическое образование в России. 2019. № 2. С. 110–115.

21. Юсупова Л. В., Ретюнский К. Ю. Непсихотические психические расстройства резидуально-органического генеза у детей раннего возраста, перенесших перинатальное поражение центральной нервной системы // Практическая Медицина. 2013. №1 (66). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pepsihoticheskie-psihicheskie-rasstroystva-rezidualno-organicheskogo-geneza-u-detey-rannego-vozrastaperezhenshih-perinatalnoe> (дата обращения: 02.10.2019).

References

1. Albitskaya Zh. V. Medico-biological predictors of the formation of disabling mental disorders in childhood. *Meditsinskii al'manakh* [Medical Almanac]. 2018, 5 (56), pp. 164-168. [In Russian]

2. Albitskaya Zh. V. Age-related features of emotional sphere disorders in children with various mental disorders. *Meditsinskii al'manakh* [Medical Almanac]. 2017, 5 (50). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozzrastnye-osobennosti-narusheniy-emotsionalnoy-sfery-u-detey-s-razlichnymi-psihicheskimi-rasstroystvami> (accessed: 01.12.2019). [In Russian]

3. Barkovskaya A. Yu., Yanin K. D. Mental ecology in the system of socio-ecological knowledge. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin

of environmental education]. 2012, 3 (21), pp. 85-87. [In Russian]

4. Bateson G. *Ecology of the mind. Selected articles on anthropology, psychiatry and epistemology*. Moscow, Smysl Publ., 2000, 476 p. [In Russian]

5. Belova O. S., Bocharova E. A., Soloviev A. G., Artemova N. A., Paramonova M. V. Screening of abnormalities of neuropsychological development in young children based on neurosonography data. *Neurologicheskii vestnik* [Neurological Bulletin]. 2018, 3, pp. 29-33. [In Russian]

6. Belova O. S., Soloviev A. G. Directions of training specialists to provide early assistance to children at risk for deviations in mental development. *Voprosy psikhicheskogo zdorov'ya detei i podrostkov* [Questions of mental health of children and adolescents]. 2019, 4 (19), pp. 11-16. [In Russian]

7. Vysotina T. N. Personal characteristics of parents raising children with complex disorders of mental development. *Vestnik SpbGU* [Vestnik Saint Petersburg State University]. 2011, 2 (2), pp. 122-127. [In Russian]

8. Ivanov M. V., Simakova N. In. Kozlovskaja G. V. Diagnosis of disorders of mental development in early childhood (screening methodology). In: *Methodological and applied problems of medical (clinical) psychology. Scientific publication*. Collective monograph ed. by N. V. Zvereva, I. F. Roshchina. M., 2018, pp. 212-221. [In Russian]

9. Kerre N. O. On the specifics of families with children with autism. *Autizm i narusheniya razvitiya* [Autism and developmental disorders]. 2011, 2 (33), pp. 18-21. [In Russian]

10. Kukushkin D. V., Kuznetsova T. A., Nechaeva T. M. Risk Factors and structure of delays in the neuropsychiatric development of young children: opportunities and prospects for diagnostics at the pediatric site. *Pediatricheskaya farmakologiya* [Pediatric Pharmacology]. 2008, 6. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/factory-riska-i-struktura-zaderzhek-nervno-psihicheskogo-razvitiya-detey-rannego-vozrasta-vozmozhnosti-i-perspektiva-diagnostiki-na> (accessed: 02.10.2019). [In Russian]

11. Kustova T. V., Taranushenko T. E., Demyanova I. M. Evaluation of psychomotor development of a young child: what a pediatrician should know. *Meditsinskii soviet* [Medical Council]. 2018, 11. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-psihomotornogo-razvitiya-rebenka-rannego-vozrasta-chto-dolzhen-znat-vrach-pediatr> (accessed: 08.12.2019). [In Russian]

12. Lazurenko S. B., Namazova-Baranova L. S., Konova S. R., Ilyin A. G. Medico-psychological and pedagogical assistance to children with disabilities: ways to improve. *Rossiiskii pediatricheskii zhurnal* [Russian pediatric journal]. 2013, 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mediko-psihologo-pedagogicheskaya-pomosch-detyam-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami-zdorovya-puti-sovershenstvovaniya> (accessed: 08.12.2019). [In Russian]

13. Makarov I. V., Pashkovsky V. E., Fesenko Yu. A., Semenova N. V. The state of incidence of mental disorders in children and adolescents in the North-Western Federal district. *Rossiiskii psikhiatricheskii zhurnal* [Russian psychiatric journal]. 2019, 6, pp. 16-24. [In Russian]

14. Morozov S. A., Morozova S. S., Morozova T. I. Some features of early assistance to children with autistic spectrum disorders. *Autizm i narusheniya razvitiya* [Autism and developmental disorders]. 2017, 2, pp. 19-31. [In Russian]

15. Morozov S. A., Nazarkina S. I. Experience in providing early care to children with ASD, children at risk with signs of ASD in the conditions Of the center of medical pedagogy of

the Pskov region. *Autizm i narusheniya razvitiya* [Autism and developmental disorders]. 2017, 2, pp. 55-64. [In Russian]

16. Podoplelova O. N. Psychological assistance to parents of children with severe mental or organic disorders. *Autizm i narusheniya razvitiya* [Autism and developmental disorders]. 2018, 4, pp. 60-63. [In Russian]

17. *Order of the Government of the Russian Federation of 31.08.2016 N 1839-p "Concept of development of early care in the Russian Federation for the period up to 2020"*. Available at: <http://www.consultant.ru>. (accessed: 29.05.2020). [In Russian]

18. Smirnova V. I. Abilitation of children of early age in the conditions of children's polyclinics (experience of Saint Petersburg). *Rossiiskii pediatricheskii zhurnal* [Russian pediatric journal]. 2012, 1, pp. 48-50. [In Russian]

19. Sorokin V. M. Content and dynamics of parents' reactions to the fact of birth of a child with developmental abnormalities. *Vestnik OGU* [Vestnik Orenburg State University]. 2011, 5 (124). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-i-dinamika-reaktsiy-roditeley-na-fakt-rozhdeniya-rebenka-s-otklonenyami-v-razviti> (accessed: 08.12.2019). [In Russian]

20. Starobina E. M., Lorer V. V. On the development of early aid in the Russian Federation. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii* [Pedagogical education in Russia]. 2019, 2, pp. 110-115. [In Russian]

21. Yusupova L. V., Retyunsky K. Yu. Non-psychotic mental disorders of resident-organic Genesis in young children who have suffered perinatal damage to the Central nervous system *Prakticheskaya Meditsina* [Practical Medicine]. 2013, 1 (66). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/nepsihoticheskie-psihiicheskie-rasstroystva-rezidualno-organicheskogo-geneza-u-detey-rannego-vozrasta-perenesshih-perinatalnoe> (accessed: 02.10.2019). [In Russian]

Контактная информация:

Соловьев Андрей Горгоньевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой психиатрии и клинической психологии, ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

163000, г. Архангельск, Троицкий проспект, 51
E-mail: ASoloviev1@yandex.ru

НАИБОЛЕЕ ЧАСТЫЕ ОШИБКИ, СОВЕРШАЕМЫЕ ПРИ ПРЕДСТАВЛЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2020 г. А. Н. Наркевич, К. А. Виноградов

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого», г. Красноярск

Представление результатов исследования в виде статьи, диссертации или тезисов конференции является не менее важным этапом научного исследования, чем непосредственная его реализация. Неверно представленные результаты исследования могут перечеркнуть важность и значимость даже самого методологически верно организованного и проведенного исследования. Целью данной статьи является рассмотрение наиболее частых ошибок, которые совершают исследователи на этапе публикации результатов проведенных научных медицинских исследований. Рассмотрены ошибки, связанные с неполным или избыточным описанием раздела, касающегося применяемых статистических методов, неверным выбором статистических параметров для описания медицинских данных, их ошибочным обозначением и интерпретацией, а также дефекты применения статистических критериев. Помимо этого затронуты ошибки, допускаемые при графическом представлении результатов научных исследований. Материал статьи не претендует на исчерпывающий перечень возможных ошибок, которые могут совершаться при представлении результатов исследований. Это описание опыта авторов по рецензированию и экспертизе различного рода научных публикаций и изданий. Учет изложенного в данной статье опыта позволит обеспечить более качественное приведение результатов реализованных медицинских исследований в диссертациях, статьях и материалах конференций.

Ключевые слова: методология научного исследования, ошибки в научных исследованиях, медицинские исследования, представление результатов исследования

THE MOST COMMON MISTAKES MADE BY RESEARCHERS IN PRESENTING RESEARCH RESULTS

A. N. Narkevich, K. A. Vinogradov

V. F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia

Presentation of research results in the form of an article, dissertation or conference abstracts is as important stage of the project as the others. Incorrectly presented research results can devalue the importance and significance of even the most methodologically well-designed and well-conducted research. This paper reviews the most common mistakes made by researchers at the stage of publishing the results of medical research. The article presents errors related to incomplete or redundant description of statistical methods, incorrect selection of statistical parameters for describing medical data, their erroneous interpretation, as well as defects in the application of statistical criteria. In addition, errors made in the graphical representation of research results are affected. The material presented in the article does not claim to be an exhaustive list of possible mistakes that can be made when presenting research results. This material is a summary of the authors' experience in reviewing scientific manuscripts and publications. Taking into account the experience described in this article will allow for better presentation of the results of implemented medical research in theses, articles and conference materials.

Key words: research methodology, errors in scientific research, medical research, presentation of research results.

Библиографическая ссылка:

Наркевич А. Н., Виноградов К. А. Наиболее частые ошибки, совершаемые при представлении результатов исследований // Экология человека. 2020. № 8. С. 55–64.

For citing:

Narkevich A. N., Vinogradov K. A. The Most Common Mistakes Made by Researchers in Presenting Research Results. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 8, pp. 55-64.

Представление результатов исследования в виде статьи, диссертации или тезисов конференции является не менее важным этапом научного исследования, чем непосредственная его реализация [1, 3, 4, 10]. Неверно представленные результаты исследования могут перечеркнуть важность и значимость даже самого методологически верно организованного и проведенного исследования [5, 6, 7]. Ошибки, которые допускают исследователи при представлении результатов, зачастую могут быть исправлены в процессе написания статьи или диссертации. В связи с

этим такие ошибки не носят фатального характера, но их знание может существенно упростить «жизнь» исследователю путем сокращения времени, которое потребуется на исправление и доработку его научного труда после экспертизы или рецензирования.

Данная статья не претендует на предъявление исчерпывающего списка ошибок, которые совершают исследователи при представлении результатов исследования, а лишь дает описание и обоснование целесообразности исправления наиболее частых ошибок, с которыми встречались в своей работе

авторы статьи. Цель ее — рассмотреть наиболее частые ошибки, которые совершают исследователи на этапе публикации результатов проведенных научных медицинских исследований.

Довольно частой ошибкой при оформлении статьи или диссертации является *недостаточное описание части по статистической обработке данных в разделе материалов и методов* [11, 12]. Довольно часто авторы ограничиваются выражениями типа «Использованы стандартные методы описательной и сравнительной статистики» или «Статистическая обработка данных производилась с использованием пакета прикладных программ Statistica». Этого, естественно, недостаточно по нескольким причинам. Во-первых, искушенному читателю, рецензенту или эксперту в таком случае совершенно непонятно, что означают записи, например, $5,6 \pm 2,3$ или $3,4 (1,2; 8,6)$, ведь на месте приведенных значений могут быть совершенно разные статистические параметры. Да, как правило, это среднее арифметическое \pm стандартное отклонение или медиана (первый квартиль; третий квартиль), но так ли это, читатель, исходя из скудного описания применяемых статистических методов, понять не может. Во-вторых, для искушенного читателя, рецензента или эксперта отсутствует возможность оценить, насколько верно были выбраны статистические методы и критерии и, соответственно, можно ли доверять описанным результатам, заключениям и выводам. И в-третьих, не секрет, что каждая отдельно взятая статья (речь идет именно о научных статьях) не несет существенного вклада в науку (за редким исключением). Существенный вклад вносит совокупность статей, опубликованных различными авторами, и представляющих результаты отдельных исследований по одному и тому же вопросу. Для аккумуляции информации из такой совокупности статей в мировом научном сообществе давно применяются мета-анализ и формирование систематических обзоров (не путать с научным обзором литературы, — как правило, такие обзоры описывают лишь мысли, представленные различными авторами, а не аккумуляцию их результатов). Для того чтобы использовать в мета-анализе или систематическом обзоре результат, опубликованный автором, необходимо четкое понимание статистических параметров, приведенных в статье, а при недостаточном описании раздела, посвященного описанию используемых статистических методов, это становится невозможным.

Также довольно часто *отсутствует описание параметров, приводимых в качестве значений после знака \pm* . После знака \pm могут приводиться различные параметры, например, ошибка среднего, стандартное отклонение, доверительный интервал и др. Если автор явным образом не указывает на то, что он приводит после знака \pm , то читатель не имеет возможности осознать в полной мере результаты, приведенные в статье или диссертации.

В противоположность предыдущей ошибке довольно часто возникает и обратная ошибка — *из-*

быточное описание статистических методов исследований. Это происходит, как правило, тогда, когда автор статьи или диссертации не описывает используемые в собственной работе статистические параметры и методы, а просто копирует этот раздел или из собственной предыдущей статьи, или из сторонней статьи (возможно, своего научного руководителя или коллег), которая уже была опубликована или защищена. В таком случае возникает ситуация, в которой в разделе материалов и методов описаны различные показатели, методы или критерии, а результаты их применения не представлены. Опытный рецензент или эксперт совершенно четко понимает, что в таком случае раздел, описывающий статистические методы исследований, откуда-то скопирован, и возникает вопрос — действительно ли применялись те методы, которые там описаны? Возникновение подобных вопросов заранее создает негативное отношение к результатам, описанным в статье или диссертации, у рецензента или эксперта.

Следующие три довольно частые ошибки связаны с описанием данных в статье или диссертации. Первая из них — *повсеместное использование при описании количественных данных среднего арифметического и стандартного отклонения или ошибки среднего ($M \pm \sigma$ или $M \pm m$)*. Данные параметры могут быть использованы лишь при подчинении количественных данных закону нормального распределения. В случае неподчинения количественных данных закону нормального распределения для описания таких данных должны быть использованы непараметрические аналоги. По собственному опыту авторов, количественные данные, подчиняющиеся закону нормального распределения, в реальных исследованиях встречаются довольно редко (в 5–10 % случаев).

Вторая ошибка — *использование в качестве меры разброса количественных данных ошибки среднего ($M \pm m$), а не стандартного отклонения ($M \pm \sigma$) при подчинении данных закону нормального распределения*. Это связано с тем, что ошибка среднего (m) всегда меньше стандартного отклонения (σ), что, по мнению авторов, визуально придает результатам большую точность, но опытный исследователь или специалист в области статистики знает, что это не так, так как эти показатели характеризуют данные совершенно с разных точек зрения. Описание данных реализует информационную функцию статистики, то есть параметры, с помощью которых описываются данные, должны нести в себе информацию об имеющихся у исследователя данных, на которых было проведено исследование, и соответственно приблизительную информацию об изучаемых показателях в генеральной совокупности (естественно, если выборка случайна и репрезентативна генеральной совокупности). В таком случае применение ошибки среднего (m) для описания данных является неверным, так как данный показатель не дает информации об имеющихся у исследователя данных, а показывает степень бли-

зости среднего арифметического в выборке к среднему арифметическому в генеральной совокупности. В связи с этим при описании количественных данных, подчиняющихся закону нормального распределения, вместо ошибки среднего (m) должно использоваться стандартное отклонение (σ), за исключением частных случаев, когда показать степень близости среднего арифметического в выборке к среднему арифметическому в генеральной совокупности действительно важно (такие случаи довольно редки).

Третье, наверное, нельзя назвать ошибкой, а вернее назвать исследовательским упущением или в некотором роде «недоанализом» данных – *игнорирование доверительных интервалов в качестве параметров описательной статистики*. Основная цель искушенного читателя статьи или диссертации является не просто ознакомиться с результатами, полученными автором на некоторой выборке, но и выяснить возможность использования данных результатов в своей практике, что возможно только при понимании результатов (хотя бы приблизительных), которые могут быть получены на всей генеральной совокупности. Это связано с тем, что читатель навряд ли когда-то в своей практике столкнется с имеющейся у автора выборкой, читатель будет иметь дело с генеральной совокупностью. Дать читателю результаты с определенной степенью вероятности, которые могут быть получены на всей генеральной совокупности, можно только с использованием доверительных интервалов. Доверительные интервалы могут быть рассчитаны практически для всех статистических параметров, которые исследователь рассчитывает на выборке: для среднего арифметического, стандартного отклонения, медианы, квартилей, коэффициентов корреляции, разности между средними арифметическими или медианами двух групп, показателей отношения шансов или относительного риска, чувствительности, специфичности и точности, площади под ROC-кривой и т. д. В связи с этим рекомендуется при описании данных помимо самих статистических параметров

приводить дополнительно доверительные интервалы (как правило, 95 % доверительные интервалы).

Следующей очень частой ошибкой является *интерпретация статистической корреляционной связи как зависимости или причинно-следственной связи между параметрами*. Для иллюстрации того, к чему может привести неверная интерпретация корреляционной связи, приведем следующий пример (рис. 1).

На рис. 1 представлены данные о динамике изменения расходов США на науку, космос и технологии и числа самоубийств путем повешения, удушения, удушья с 1999 по 2009 г. Коэффициент корреляции между двумя динамическими рядами составил 0,998 ($r = 0,998$), что свидетельствует о том, что между данными показателями имеется очень сильная (практически полная или функциональная) прямая корреляционная связь. Если представить, что между данными показателями имеется какая-то зависимость или причинно-следственная связь, то можно сделать заключение о том, что для того чтобы снизить число самоубийств путем повешения, удушения, удушья, необходимо снизить расходы США на науку, космос и технологии. Пример подобран специально таким образом, чтобы даже человеку, не очень разбирающемуся в подобных аналитических выкладках, было понятно, что данное заключение, естественно, неверное и может привести к фатальным последствиям для страны.

В дополнение к неверной интерпретации корреляционной связи можно привести еще одну ошибку – *неверное обозначение коэффициентов корреляции*. Зачастую коэффициенты корреляции Спирмена или Кендалла авторами обозначаются как « r », но каждый коэффициент корреляции имеет свое собственное обозначение. Так, коэффициент корреляции Пирсона обозначается как « r », коэффициент корреляции Спирмена – как « ρ » (греческая ро), а коэффициент корреляции Кендалла – как « τ » (греческая тау).

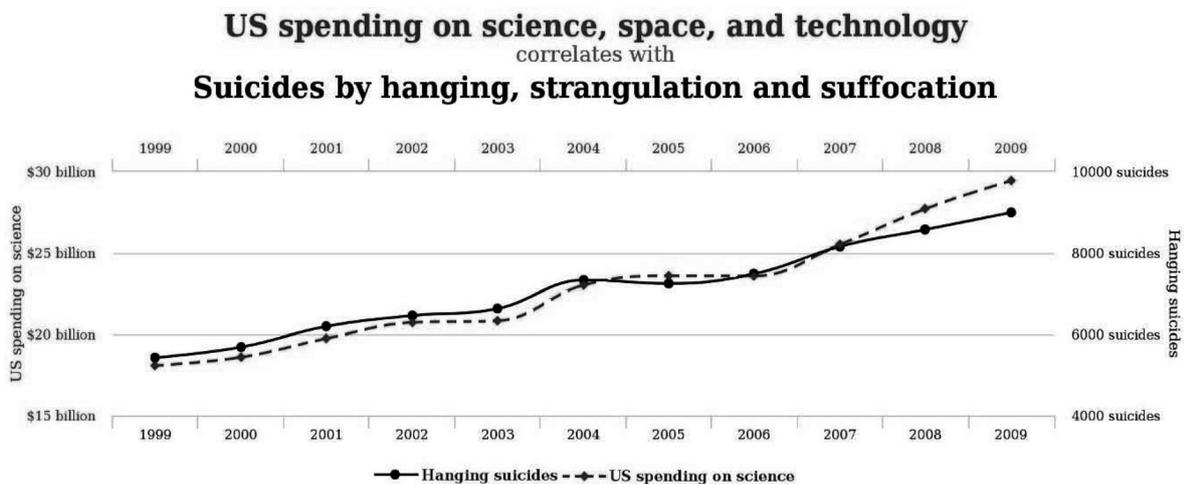


Рис. 1. Динамика расходов США на науку, космос и технологии и числа самоубийств путем повешения, удушения, удушья с 1999 по 2009 г. (<https://tylervigen.com/spurious-correlations>)

Довольно часто авторами при оценке влияния различных факторов на риск развития заболеваний или каких-либо исходов осуществляется *неправильный выбор показателя (отношения шансов или относительного риска)*. Необходимо помнить, что истинная оценка влияния фактора осуществляется с помощью показателя относительного риска, но данный показатель возможно рассчитывать лишь при проведении когортного исследования, когда группы пациентов набираются по принципу есть фактор риска/нет фактора риска. В случае проведения исследования по типу «случай-контроль», когда исследуемые группы набираются по принципу есть исход/нет исхода, приблизительная оценка влияния фактора осуществляется только с помощью показателя отношения шансов. С описанием когортных исследований и исследований по типу «случай-контроль» можно ознакомиться в одной из предыдущих статей [9].

Довольно часто исследователями *неверно используются термины «чаще» или «реже» при анализе структурных показателей (%)*. Рассмотрим две гипотетические формулировки. Первая — женщины (68,9 %) чаще болеют сахарным диабетом, чем мужчины (31,1 %). Вторая — среди женщин (68,9 %) чаще выявляется сахарный диабет, чем среди мужчин (31,1 %). На первый взгляд эти формулировки практически ничем не отличаются, но одна из них является неверной. При этом, прочитав только формулировку, сказать, какая из них неверна, нельзя. Одна из них будет неверна при определенном дизайне исследования, а другая при другом дизайне. Рассмотрим эту ошибку подробнее. Как правило, описание процентных показателей осуществляется при реализации двух классических дизайнов. Первый — проведение сравнительного исследования между двумя группами. Второй — описательное исследование одной группы. Предположим, исследователем проводилось сравнительное исследование с изучением двух групп пациентов: женщин и мужчин. Естественно, выборки сформированы с учетом требований случайности и репрезентативности. В процессе исследования установлено, что в группе женщин выявлено 68,9 % больных сахарным диабетом, а в группе мужчин — 31,1 %. В данном случае верной формулировкой заключения будет являться — среди женщин (68,9 %) чаще выявляется сахарный диабет, чем среди мужчин (31,1 %). Почему же нельзя сказать, что женщины (68,9 %) чаще болеют сахарным диабетом, чем мужчины (31,1 %)? Сам термин «чаще» (или «реже» в зависимости от результатов исследования) говорит о том, что больных женщин в абсолютном количестве больше, чем мужчин, но при сравнительном исследовании двух групп на основании процентных значений в этом нельзя быть уверенным. Так как проценты являются относительными показателями, то они не отражают никоим образом абсолютные значения больных в группах и абсолютные значения объемов этих групп. В таком случае может оказаться, что группа женщин состояла из 1 000 человек и из них

болели сахарным диабетом 689 женщин, а группа мужчин состояла из 5 000 человек и из них болели 1 555 мужчин. Если мы сделаем заключение, что женщины болеют чаще, чем мужчины, на основании процентных значений, то это окажется неверным, так как в абсолютном виде мужчин, больных сахарным диабетом, больше (1 555 человек), чем женщин (689 человек).

Исследователем проводилось описательное исследование одной группы, например, была сформирована группа больных сахарным диабетом (1 000 человек). Естественно, группа также должна быть сформирована с учетом принципов случайности и репрезентативности. В процессе исследования установлено, что среди больных сахарным диабетом женщины составили 68,9 %, а мужчины — 31,1 %. В таком случае будет верна формулировка о том, что женщины (68,9 %) чаще болеют сахарным диабетом, чем мужчины (31,1 %). В данном случае какого бы объема ни была анализируемая группа (10, 100, 1000 или 10 000 больных), 68,9 % всегда в абсолютном значении будет больше, чем 31,1 %. В связи с этим в данном случае может быть использована именно эта формулировка. Почему же нельзя сказать, что среди женщин (68,9 %) чаще выявляется сахарный диабет, чем среди мужчин (31,1 %). В данном случае несоответствие вызывает слово «среди», которое говорит о том, что раз «среди женщин», то в исследовании была группа женщин, и раз «среди мужчин», то была группа мужчин. Но в исследовании не было ни группы женщин, ни группы мужчин, а была лишь группа больных сахарным диабетом. Следует учитывать особенность использования «чаще» или «реже» при формировании заключений в статье или диссертации.

Следующий блок довольно частных ошибок при представлении результатов исследований включает в себя ошибки, связанные с представлением диаграмм. Так, *довольно часто для представления результатов выбираются неверные виды диаграмм*. Необходимо иметь в виду, что общепринятым является использование круговой диаграммы для представления структуры (в виде процентов, сумма которых равна 100) выборки или группы, линейной диаграммы (или графика) для представления изменения какого-либо показателя в динамике, столбчатые (или столбиковые) диаграммы, как горизонтальные, так и вертикальные, как правило, используются для сравнения показателей между группами, точечная — для представления связи между признаками. Естественно, в исключительных случаях эти общепринятые правила вполне оправданно могут нарушаться, как и могут применяться более современные диаграммы, такие как «ящик с усами», структурные столбиковые, лепестковые или комбинированные.

Также довольно часто встречается *отсутствие подписей осей диаграмм или отсутствие единиц измерения, в которых выражаются показатели, приводимые на осях диаграмм*. Зачастую программы, с помощью которых осуществляется создание

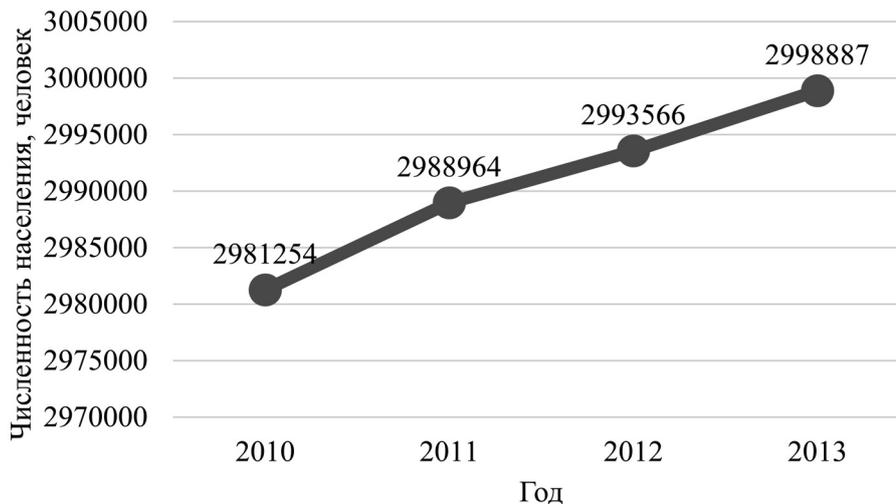


Рис. 2. Динамика численности населения Красноярского края за период с 2010 по 2013 г.

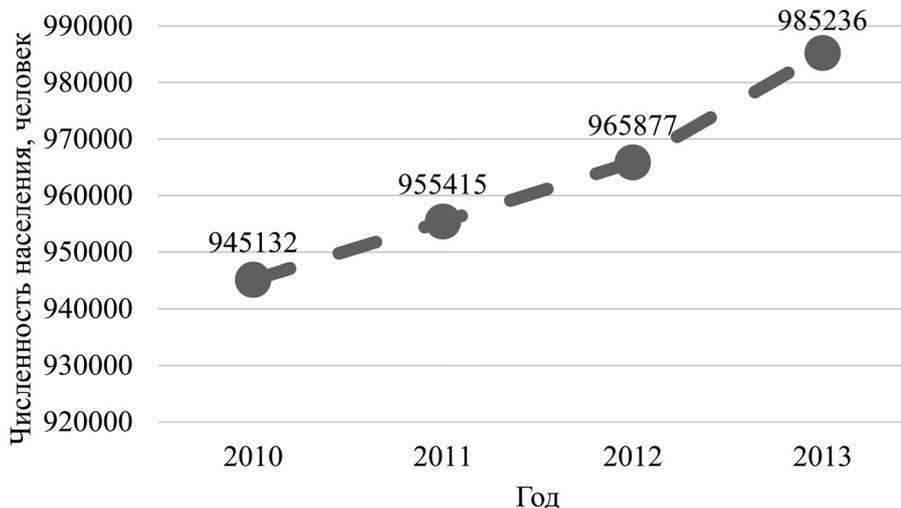


Рис. 3. Динамика численности населения города Красноярска за период с 2010 по 2013 г.

диаграмм, автоматически не вставляют эти данные в диаграмму, что вызвано различными причинами. В связи с этим необходимо помнить, что при вставке диаграммы в статью или диссертацию необходимо указать подписи ко всем имеющимся на диаграмме осям и указать единицы измерения приводимых показателей.

Также довольно частой ошибкой является *неверное представление минимальных и максимальных значений осей на диаграммах*. Довольно часто исследователи идут на это специально для того, чтобы визуальнo отразить существенность изменений какого-либо показателя. Так, на рис. 2 и 3 представлена динамика изменения численности населения Красноярского края и города Красноярска за период с 2010 по 2013 г. Глядя на приведенные графики, можно сказать, что за 4 года произошел существенный рост численности населения в Красноярском крае и городе Красноярске. Это связано с тем, что минимумом оси Y является довольно большое число, а приводимые на диаграмме значения слишком велики, чтобы при беглом просмотре их можно

было отнять друг от друга. Хотя даже если кому-то и удастся их бегло отнять, то получится довольно внушительное число. Так, например, в 2013 г. по сравнению с 2012 г. произошел рост численности населения Красноярского края на 5 321 человека, а в городе Красноярске – на 19 359 человек. В любой ситуации такие диаграммы создают впечатление существенной динамики показателя.

Если представить эти данные на диаграмме с минимальным значением оси Y, равным 0, то визуальнo данные предстанут по-другому (рис. 4). Сразу становится видно, что существенного прироста в численности населения Красноярского края и города Красноярска за 4 года не произошло. Та же самая ситуация складывается при представлении процентных значений. На рис. 5 представлено сравнение удельного веса наличия симптомов у больных двух сравниваемых групп. На первый взгляд при беглом анализе графика может показаться, что в группе I существенно ниже доля наличия сухого кашля и болей в грудной клетке, но существенно выше доля наличия такого симптома, как кровохаркание.

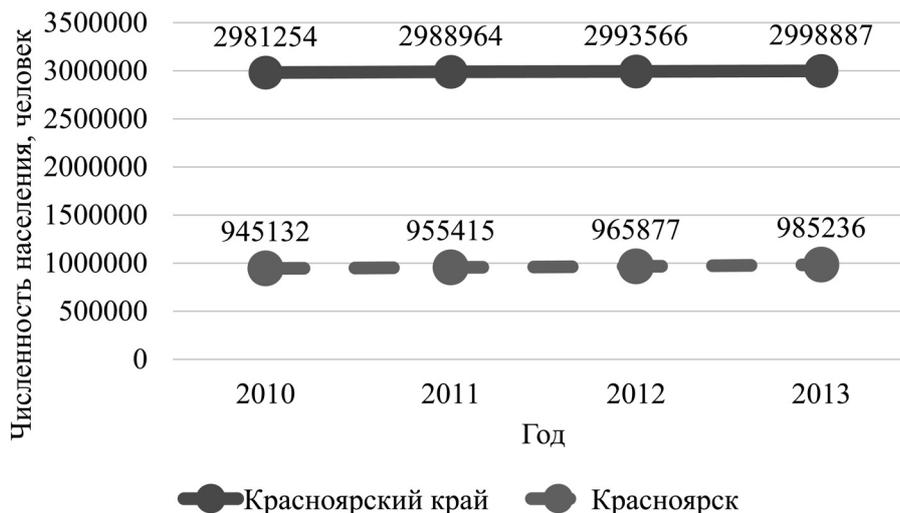


Рис. 4. Динамика численности населения Красноярского края и города Красноярска за период с 2010 по 2013 г.

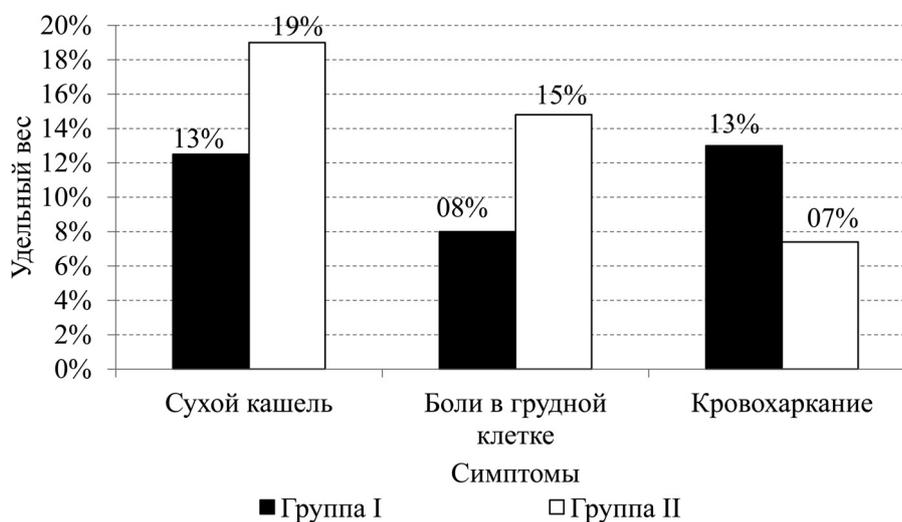


Рис. 5. Наличие симптомов у больных двух сравниваемых групп с неверным представлением максимального значения по оси Y

Однако если представить эти данные на диаграмме, на которой максимальное значение по оси Y будет равным 100 %, то визуально данные предстанут совершенно в другом виде (рис. 6). В таком случае даже при беглом анализе приведенных на диаграмме данных видно, что существенные отличия между сравниваемыми группами по наличию симптомов отсутствуют.

Следующей довольно значительной ошибкой является *интерпретация статистически значимых различий как клинически значимых*. Данная ошибка связана с широким внедрением и использованием статистических методов при проведении медицинских исследований. Ранее, когда статистические методы были менее распространены, заключение о том, что при сравнении двух исследуемых групп были установлены значительные различия уровня лейкоцитов: в 1-й группе средний уровень – $7,8 \cdot 10^9$ ед. на л, во 2-й – $8,5 \cdot 10^9$ ед. на л., в научных публикациях не возникало. Любому специалисту понятно, что разница в $0,7 \cdot 10^9$ ед. на л не имеет никакого клинического

значения, так как, во-первых, уровень лейкоцитов является довольно неспецифическим параметром, а во-вторых, такое маленькое отличие явно не имеет какого-либо практического значения. На сегодняшний же день, когда к арсеналу медицинского исследователя добавились статистические методы в дополнение к простым аналитическим заключениям, добавилось еще и статистическое подтверждение различий, и соответственно уверенность авторов в том, что действительно имеются различия между такими группами, возросла. Однако за статистическим подтверждением различий между группами зачастую теряются клинические различия. Например, исследовались две группы пациентов: 1-я группа – больные каким-либо заболеванием, 2-я группа – здоровые лица (то есть не имеющие данного заболевания). По результатам сравнения групп автором сделано заключение о том, что установлены статистически значимые различия между возрастом изучаемых групп: в 1-й группе средний возраст составил $(22,8 \pm 2,2)$ года, во 2-й

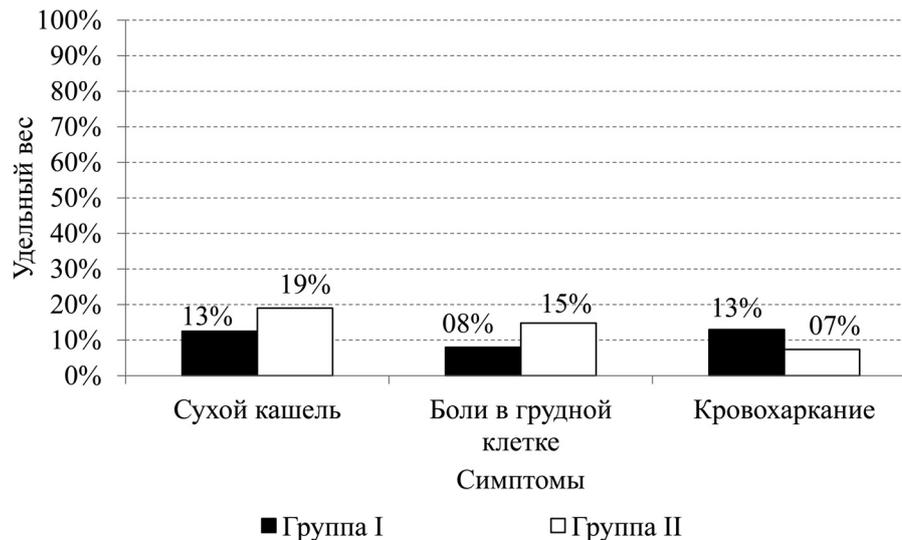


Рис. 6. Наличие симптомов у больных двух сравниваемых групп с верным представлением максимального значения по оси

группе ($27,9 \pm 2,4$) года ($p = 0,008$). Естественно, между группами по возрасту имеются статистически значимые различия, так как это подтверждено уровнем значимости примененного статистического критерия, но имеются ли между группами какие-либо клинические (то есть важные для практики) различия. Скорее нет, так как различие между группами весьма незначительное, хоть и статистически значимое. На основе такого различия практически невозможно выстраивать какую-либо клиническую тактику. Основным отличием статистической и клинической значимости является то, что статистическая значимость определяется на основании величины различия (можно назвать величиной эффекта) и объема выборок, на которых это различие получено, а клиническая значимость — только на основании величины различия. Различие может быть статистически значимо даже при минимальной величине различий, но при довольно большой выборке исследования, клинически же значимым малая величина различий быть не может. Исходя из этого, не все, что имеет статистическую значимость, является клинически значимым, но все, что является клинически значимым, должно быть и статистически значимым. Необходимо учитывать это при интерпретации результатов исследования.

Также при интерпретации результатов сравнения групп довольно часто случается *использование термина «достоверно» или «статистически достоверно»* [2]. Это возникает при описании статистически подтвержденных различий между группами. Например, между группами установлено достоверное отличие возраста ($p=0,012$). Термин «достоверно» означает 100 % уверенность в отличии, то есть все пациенты одной группы старше или младше всех пациентов второй группы. При этом такое различие сохраняется не только в изучаемых выборках, но и в генеральной совокупности в целом. Такое заключение в корне неверно. Во-первых, уровень значимости,

равный 0,012, означает, что существует вероятность того, что такие различия найдены случайно, и на самом деле в генеральной совокупности таких отличий не будет. И во-вторых, даже при очень низком уровне значимости ($p < 0,000001$) всегда данная вероятность сохраняется. В таком случае можно говорить лишь о значимом или статистически значимом различии, то есть термины «достоверно» или «статистически достоверно» необходимо заменять на «значимо» или «статистически значимо». О достоверном различии между группами, во-первых, можно говорить, когда изучается полностью вся генеральная совокупность (как правило, это результаты государственной статистической отчетности, например, заболеваемость в городе N выше, чем в городе K). Во-вторых, когда действительно все пациенты одной группы отличаются от всех пациентов второй группы (например, пациенты до 30 лет достоверно младше пациентов в возрасте 60 лет и старше). Последний пример показывает, что такие сравнения либо являются вполне очевидными, либо очень редки.

Как дополнение к предыдущей ошибке можно отметить ошибку *приведения авторами уровня значимости равного 0* ($p = 0,000$). Зачастую это связано с тем, что популярные статистические программы, в том числе IBM SPSS Statistics и StatSoft Statistica, очень маленькие значения p приводят как 0,000 или 0,00000. Такая запись указывает лишь на то, что уровень значимости очень мал ($p < 0,000001$), но не означает, что $p = 0,000$ или 0,00000. Значение уровня значимости, равное 0, означает, что различие действительно достоверное, но с помощью статистических критериев установить это невозможно. Уровень значимости всегда больше 0, хоть и может быть очень близок к 0, но все же не 0.

Еще одной схожей ошибкой является *отсутствие точного значения уровня значимости, а указание больше или меньше какого-либо граничного*

значения (как правило, 0,05). Конечно, это нельзя назвать действительно ошибкой (если правильно выбран критерий и p действительно меньше 0,05, то совершенно верно, что $p < 0,05$), скорее это можно назвать «недоописанием» результатов, которое крайне важно избегать. Если автором приводится значение уровня значимости меньше 0,05 ($p < 0,05$), то такая запись полностью лишает читателя возможности самому интерпретировать результаты исследования. Ведь $p < 0,05$ это и $p = 0,049$ и $p = 0,001$, хотя уверенность в наличии различий во втором варианте намного выше, а $p = 0,049$ может являться лишь случайностью. То же самое можно сказать и про запись о том, что $p > 0,05$ (могут быть всевозможные варианты от 0,051 до 0,547 и даже до 1,000). Заранее автор не знает, как читатель захочет воспользоваться результатом исследования. Одним для того, чтобы использовать в практике результаты исследования, будет достаточно $p = 0,049$, а для других только $p = 0,010$ и меньше. Читатели могут оценить $p = 0,051$ как намек на более тщательное изучение вопроса, освещаемого в статье или диссертации, а $p = 0,887$ как то, что в этом направлении дальнейшего изучения не требуется. Таким образом, запись $p < 0,05$ или $p > 0,05$ лишает читателя индивидуальной интерпретации результатов исследования.

Довольно частой ошибкой представления результатов исследования является *приведение в статье или диссертации 25 и 75 квартилей или 1 и 3 процентилей*. На первый взгляд может показаться, что ошибки в данном случае никакой нет, но она связана с несоответствием цифровых значений данных показателей и их названием. Так, квартили (от лат. *quarta* — четвертая) это значения в ряде данных или выборке, которые делят весь ряд на 4 равные части. То есть квартили это всего лишь 3 значения: 1 квартиль — значение, меньше которого 25 % данных и 75 % больше, 2 квартиль — значение, меньше и больше которого по 50 % данных, то есть 2 квартиль это тоже самое, что и медиана, и 3 квартиль — значение, меньше которого 75 % данных и 25 % больше. Таким образом, указание 25 и 75 квартилей попросту невозможно, так как их не существует. То же самое касается и 1 и 3 процентилей. Процентили (лат. *per cent* «на сотню; сотая») это значения, которые делят весь ряд данных или выборку на 100 равных частей. То есть существует 99 процетилей и аналогичными 1 и 3 квартилю являются 25 и 75 процентили. В связи с этим верным представлением будет являться приведение в статье или диссертации 25 и 75 процентилей или 1 и 3 квартилей.

Также довольно часто встречается *неполное или неправильное написание названий критериев*. Если автором хотя бы не полностью указано название критерия, то читатель, рецензент или эксперт не может оценить правильность его выбора в конкретном случае. Например, если в статье или диссертации указано, что применялся критерий Стьюдента, то неясно, какой — для связанных или несвязанных групп,

метод Пирсона — критерий Хи-квадрат Пирсона, или коэффициент корреляции Пирсона, или коэффициент взаимной сопряженности Пирсона, и т. д. Очень важно при описании раздела, описывающего статистические методы исследования, указывать точные и полные названия применяемых критериев. С наиболее часто применяемыми статистическими критериями при анализе медицинских данных можно ознакомиться в одной из предыдущих статей [8].

Иногда в диссертации или статье можно встретить *указание единицы измерений после медианы, а не после квартилей*. Например, медиана возраста исследуемых пациентов составила 28,5 года (20,5; 35,5), а не 28,5 (20,5; 35,5). На первый взгляд никакой особенной ошибки в этом нет и можно назвать это простой придиркой к описанию результатов. Однако приведение единицы измерения является обязательным условием приведения данных и в ситуации, когда данные представлены как 28,5 года (20,5; 35,5), ясно, в каких единицах измеряется медиана, но совершенно не ясно, в чем измеряются квартили. Запись же 28,5 (20,5; 35,5) года дает представление в каких единицах измеряется и медиана, и квартили.

Одной из довольно часто встречаемых ошибок можно упомянуть *применение статистических критериев при сравнении групп, которые представлены генеральной совокупностью*. Например, по данным государственной статистической отчетности среди мужчин больных сахарным диабетом II типа меньше, чем среди женщин ($p = 0,002$). Применение статистических критериев при сравнении групп позволяет узнать вероятность того, что имеющиеся между группами различия носят не случайный характер и будут повторяться при таком же сравнении, если заново собрать случайным образом выборки. При сравнении генеральных совокупностей (в нашем случае мужчин и женщин) отсутствует вероятность того, что имеющиеся различия установлены случайно, так как это генеральные совокупности и раз уж различия есть, то они 100 % есть. То же самое можно сказать про повторяемость такого же сравнения при новом формировании групп. Нельзя заново собрать новую генеральную совокупность, она всегда одна и та же. В связи с этим при анализе данных в генеральной совокупности отсутствует необходимость использования статистических критериев для подтверждения статистической значимости различий, так как любые различия в генеральной совокупности достоверны. Также на данных о генеральной совокупности нельзя рассчитывать доверительные интервалы. Доверительные интервалы позволяют экстраполировать результаты выборочного исследования на генеральную совокупность. То есть при расчете доверительных интервалов на данных о генеральной совокупности результаты будут экстраполироваться сами на себя.

Иногда можно встретить в статьях или диссертациях *приведение результатов статистического сравнения процентных значений в рамках одной группы*. Например, в изучаемой группе мужчин (68,5 %) было

больше, чем женщин (31,5 %; $p = 0,023$). Эта ошибка зачастую возникает с отсутствием четкого понимания групп исследования и как они сформированы или хотя бы как должны быть сформированы. Исследуемая группа формируется так, чтобы она была количественно и качественно репрезентативна генеральной совокупности, то есть группа должна представлять всю генеральную совокупность. Если это условие не соблюдено, то основываться на результатах такого исследования вообще нельзя. Исследователь сравнивает с помощью статистических критериев две правильно сформированные группы, то есть извлеченные из двух генеральных совокупностей. Например, группа мужчин и женщин — группа мужчин извлечена из генеральной совокупности мужчин, а группа женщин — соответственно из генеральной совокупности женщин. В таком случае, естественно, необходимо статистическое подтверждение различий с помощью статистических критериев. То есть необходимо подтвердить, что имеющиеся различия между группами также будут и между генеральными совокупностями, из которых извлечены данные группы. Если же исследователь сравнивает с помощью статистических критериев показатели в одной правильно сформированной группе, извлеченной из одной генеральной совокупности, то происходит сравнение данной совокупности самой с собой. Например, мужчины и женщины в рамках группы больных пневмонией пациентов — и мужчины, и женщины представляют собой одну генеральную совокупность — больных пневмонией. В таком случае если в группе больных пневмонией мужчин было больше, то и в генеральной совокупности их будет больше, так как группа сформирована случайно, она количественно и качественно репрезентативна и отражает генеральную совокупность.

Следующей ошибкой является *округление значений до различного количества знаков после запятой*. В одном случае значения представлены с округлением до двух знаков после запятой, в других — до одного, а в некоторых и вовсе до целых значений. Такое разнообразие заставляет задуматься о незнании автором правил округления. Округление структурных показателей, то есть процентов, как правило, осуществляется следующим образом. Если объем группы, из которой рассчитывается процент (значение, которое стоит в знаменателе), больше 1 000, то округление необходимо осуществлять до сотых (до двух знаков после запятой), если объем группы от 100 до 1 000 — до десятых (до одного знака после запятой), если от 20 до 100 — до целых значений процентов, а если объем группы менее 20, то вообще не рекомендуется описывать данные в виде процентов, а лучше представлять абсолютные значения. Проиллюстрировать пример абсурдности расчета процентов при малом объеме наблюдений можно следующим примером: «В результате эксперимента 33,3 % мышей выжили, 33,3 % — умерли, а третья — убежала». В отношении же не структурных показателей (то есть не процентов), как правило, при округлении исходят из следующих

условий. Во-первых, точностью прибора, которым измеряются показатели. Например, при измерении массы тела пациентов весами, погрешность которых составляет более 100 граммов, не имеет смысла округлять значения до десятых, так как при записи веса, например 63,8 кг, 8 десятых будут ошибочными. Во-вторых, необходимостью или целесообразностью округления до большого числа знаков после запятой. Например, в обычных клинических исследованиях никакого значения не имеет разница в массе тела человека 63,35 кг и 63,38 кг. Естественно, существуют исследования, при которых необходима высокая точность, в том числе и таких показателей, как масса тела человека, но это единичные случаи. Помимо правильного округления необходимо соблюдать единообразное округление, то есть округление однородных показателей до одного и того же числа знаков после запятой. Даже если вы округляете в работе все значения до сотых или до десятых и получаете в расчетах целое значение (например, 35), то его необходимо представлять не просто 35, а 35,00 или 35,0.

Очень часто можно встретить *несоответствие названий показателей, которые указываются в тексте и показателей, реально приводимых автором*. Например, в материалах и методах, описывающих статистические методы исследования, автором указано, что количественные показатели приводятся в виде медианы, 1 и 3 квартилей, а в тексте статьи или диссертации встречается фраза «Средний рост составил 163,5 (160,5; 171,5) см». В таком случае возникает несоответствие — в материалах и методах написано, что представляется медиана и квартили, реально представляется медиана и квартили (это видно из формата приведенных данных), однако называется это средним, но среднее арифметическое и медиана это два разных показателя, и они не заменяют друг друга. Если автор приводит медиану и квартили, то и в тексте должно быть указано «Медиана роста составила 163,5 (160,5; 171,5) см».

Таким образом, рассмотрены наиболее частые ошибки, совершаемые исследователями при представлении результатов медицинских исследований. Учет изложенного в данной статье опыта позволит обеспечить более качественное приведение результатов реализованных медицинских исследований в диссертациях, статьях и материалах конференций.

Авторство

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.

Наркевич Артем Николаевич — ORCID 0000-0002-1489-5058; SPIN 9030-1493

Виноградов Константин Анатольевич – ORCID 0000-0001-6224-5618; SPIN 6924-0110

Список литературы

1. Гржибовский А. М. Использование статистики в российской биомедицинской литературе // Экология человека. 2008. № 12. С. 55–64.
2. Зорин Н. А. «Достоверность» или «статистическая значимость» – 12 лет спустя // Педиатрическая фармакология. 2011. № 5. С. 13–19.
3. Зорин Н. А. Оценка качества научных публикаций (часть I) // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2011. № 3. С. 71–76.
4. Зорин Н. А. Оценка качества научных публикаций (часть II) // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2012. № 1. С. 85–93.
5. Ланг Т. Двадцать ошибок статистического анализа, которые вы сами можете обнаружить в биомедицинских статьях // Международный журнал медицинской практики. 2005. № 1. С. 21–31.
6. Леонов В. П. Ошибки статистического анализа биомедицинских данных // Международный журнал медицинской практики. 2007. № 2. С. 19.
7. Леонов В. П. Статистика в кардиологии. 15 лет спустя // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2014. № 1. С. 17–28.
8. Наркевич А. Н., Виноградов К. А. Выбор метода для статистического анализа медицинских данных и способа графического представления результатов // Социальные аспекты здоровья населения. 2019. № 4. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1092/30/lang,ru/> DOI: 10.21045/2071-5021-2019-65-4-9.
9. Наркевич А. Н., Виноградов К. А. Дизайн медицинского исследования // Социальные аспекты здоровья населения. 2019. № 5. URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1108/30/lang,ru/> DOI: 10.21045/2071-5021-2019-65-5-13.
10. Наркевич А. Н., Виноградов К. А. Настольная книга автора медицинской диссертации: пособие. М.: Инфра-М, 2019. 454 с.
11. Реброва О. Ю. Описание статистического анализа данных в оригинальных статьях. Типичные ошибки // Российская ринология. 2018. № 1. С. 65–68.
12. Унгурияну Т. Н., Гржибовский А. М. Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях // Экология человека. 2011. № 5. С. 55–60.

References

1. Grjibovski A. M. Use of statistics in Russian biomedical literature. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2008, 12, pp. 55-64. [In Russian]
2. Zorin N. A. «Reliability» or «statistical significance» - 12 years later. *Pediatricheskaya farmakologiya* [Pediatric pharmacology]. 2011, 5, pp. 13-19. [In Russian]

3. Zorin N. A. Assessment of the quality of scientific publications (part I). *Meditsinskie tekhnologii. Otsenka i vybor* [Medical technologies. Evaluation and selection]. 2011, 3, pp. 71-76. [In Russian]
4. Zorin N. A. Assessment of the quality of scientific publications (part II). *Meditsinskie tekhnologii. Otsenka i vybor* [Medical technologies. Evaluation and selection]. 2012, 1, pp. 85-93. [In Russian]
5. Lang T. Twenty errors of statistical analysis that you can find yourself in biomedical articles. *Mezhdunarodnyi zhurnal meditsinskoi praktiki* [International journal of medical practice]. 2005, 1, pp. 21-31. [In Russian]
6. Leonov V. P. Errors of statistical analysis of biomedical data. *Mezhdunarodnyi zhurnal meditsinskoi praktiki* [International journal of medical practice]. 2007, 2, p. 19. [In Russian]
7. Leonov V. P. Statistics in cardiology. 15 years later. *Meditsinskie tekhnologii. Otsenka i vybor* [Medical technologies. Evaluation and selection]. 2014, 1, pp. 17-28. [In Russian]
8. Narkevich A. N., Vinogradov K. A. Choice of method for statistical analysis of medical data and method of graphical representation of results. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya* [Social aspects of population health]. 2019, 4, URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1092/30/lang,ru/> DOI: 10.21045/2071-5021-2019-65-4-9. [In Russian]
9. Narkevich A. N., Vinogradov K. A. Design of medical research. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya* [Social aspects of population health]. 2019, 5, URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1108/30/lang,ru/> DOI: 10.21045/2071-5021-2019-65-5-13. [In Russian]
10. Narkevich A. N., Vinogradov K. A. *Nastol'naya kniga avtora meditsinskoi dissertatsii: posobie* [Table book of the author of the medical dissertation: a manual]. Moscow, Infra-M Publ., 2019, 454 p.
11. Rebrova O. Yu. Statistical analysis of the data in the original articles. Typical errors. *Rossiiskaya rinologiya* [Russian rhinology]. 2018, 1, pp. 65-68. [In Russian]
12. Unguryanu T. N., Grjibovski A. M. Brief recommendations for describing, statistical analysis, and presenting data in scientific publications. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 5, pp. 55-60. [In Russian]

Контактная информация:

Наркевич Артем Николаевич – кандидат медицинских наук, доцент, декан-медико-психолого-фармацевтического факультета, зав. 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» Министерства здравоохранения Российской Федерации
 Адрес: г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, д. 1
 E-mail: narkevichart@gmail.com